

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

імені Ігоря Сікорського»

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра технології машинобудування

(повна назва кафедри)

Кафедра технології машинобудування

Спеціальність **131. Прикладна механіка.**

Спеціалізація **Технології виготовлення літальних апаратів**

(код і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

_____ Ю.В. Петраков

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Шубіну Юрію Євгеновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації : Удосконалення методів зубохонінгування при фінішній обробці шестерень гідромоторів

науковий керівник: Воронцов Б.С., д.т.н., професор,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом закінченої дисертації «___» _____ 20__ р.

3. Об'єкт дослідження: процес зубохонінгування при фінішній обробці шестерень гідромоторів алмазними еластичними черв'ячними хонами

4. Предмет дослідження: вплив режимів обробки шестерень алмазними еластичними черв'ячними хонами на шорсткість поверхні зуба

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: визначити оптимальні режими зубохонінгування, які дозволяють як найкраще використовувати можливості алмазних зубчастих хонів; розробити Startup-проекту.
6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу : презентація PowerPoint
7. Орієнтовний перелік публікацій:
 - Кривошея А. В., Воронцов Б.С., Константиненко Д.О., Шубін Ю.Є - «Підвищення якості поверхонь зубчастих коліс при удосконаленні методу зубохонінгування», «Машинобудування очима молодих» Прогресивні ідеї – наука – виробництво, Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції, 31 жовтня-02 листопада Краматорськ 2018 рік, Під заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ: ДДМА, 2018. — 204 с.;
 - Воронцов Б.С., Шубін Ю.Є., Савченко О.Ю., «Сучасне обладнання с ЧПК та інструменти для високошвидкісного чистового оброблення зубчастих коліс», викладено у збірнику матеріалів конференції (№40 у 2018 році) Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації, від 26 жовтня 2018р. м. Переяслав-Хмельницький, Україна

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел	01.10.2018	
2	Ознайомлення з існуючими на ринку матеріалами і технологіями	15.10.2018	
3	Формування теоретичних засад проведення дослідження	22.10.2018	
4	Підготовка до публікацій статей	25.10.2018	
5	Постановка експерименту	30.11.2018	
6	Аналіз результатів	03.12.2018	
7	Підготування магістерської дисертації	12.12.2018	

Студент

(підпис)

Шубін Ю.Є.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Воронцов Б.С.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертаційна робота складається із змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Робота містить 74 сторінок тексту, 31 рисунок, 27 таблиць, 21 найменування використаних літературних джерел.

Актуальність теми. У багатьох випадках використання зубчастих передач зі складними або модифікованими поверхнями і високими якісними показниками дозволяє значною мірою розширити функціональні і підвищити експлуатаційні та інші показники різних машин і механізмів.

Практичні дослідження або впровадження зубохонінгування черв'ячними хонами або алмазними черв'ячними еластичними хонами на даний час недостатньо вивчені. Тому дослідження і впровадження зубохонінгування циліндричних зубчастих коліс шестерень гідромоторів алмазними еластичними черв'ячними хонами є актуальним для вітчизняного машинобудування.

У рамках даної роботи приведені результати теоретичного і експериментального дослідження впливу режимів алмазного хонінгування на якість циліндричних зубчастих коліс.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота має зв'язок з науково-дослідною роботою інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України за проектом Р 7.4.1. «Розробка технології керування параметрами шорсткості поверхневого шару зубчастих вінців методом алмазного зубохонінгування після їх термообробки».

Метою роботи є збільшення надійності, зносостійкості і довговічності циліндричних зубчастих коліс.

Завданням дослідження є теоретичні і експериментальні дослідження технологічних можливостей процесу зубохонінгування алмазними еластичними черв'ячними хонами і їх вплив на якість циліндричних зубчастих коліс.

Об'єкт дослідження – процес зубохонінгування при фінішній обробці шестерень гідромоторів алмазними еластичними черв'ячними хонами.

Предмет дослідження – вплив режимів обробки шестерень алмазними еластичними черв'ячними хонами на шорсткість поверхні зубця.

Мета дослідження. Теоретичні і експериментальні методи: теорія обробки матеріалів різанням, включаючи термообробку і застосування новітніх способів фінішної обробки деталей.

Наукова новизна.

Запропоновано оптимальні режими обробки поверхонь циліндричних зубчастих коліс при фінішній обробці алмазними еластичними черв'ячними хонами шестерень гідромоторів.

Практичне значення

Установленні оптимальні режими зубохонінгування, які дозволяють як найкраще використовувати можливості алмазних еластичних зубчастих хонів.

Публікації

- Кривошея А.В., Воронцов Б.С., Константиненко Д.О., Шубін Ю.Є. - «Підвищення якості поверхонь зубчастих коліс при удосконаленні методу зубохонінгування», «Машинобудування очима молодих» Прогресивні ідеї – наука – виробництво, Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції, 31 жовтня-02 листопада Краматорськ 2018 рік, Під заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ: ДДМА, 2018. - 204 с.;
- Воронцов Б.С., Шубін Ю.Є., Савченко О.Ю., «Сучасне обладнання с ЧПК та інструменти для високошвидкісного чистового оброблення зубчастих коліс», викладено у збірнику матеріалів конференції (№40 у 2018 році) Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації, від 26 жовтня 2018р. м. Переяслав-Хмельницький, Україна - 5 с.

Ключові слова: зубохонінгування, алмазний еластичний черв'ячний хон, шорсткість, режими обробки, контактна поверхня зубців шестерень.

ABSTRACT

Master's dissertation consists of content, introduction, four sections, conclusions, list of used literature. The work contains 80 pages of text, 31 figures, 27 tables, 21 titles of used literary sources.

Actuality of theme. In many cases, the use of gears with complex or modified surfaces and high qualitative indicators can greatly expand the functional and improve the performance and other indicators of different machines and mechanisms.

Practical studies or the introduction of tooth-honing worm chords or diamond worm elastic hones are currently underdeveloped. Therefore, the research and implementation of the tooth-honing of cylindrical gears of gears of hydraulic motors with diamond elastic worm hones is relevant for domestic machine-building.

In the framework of this work the results of theoretical and experimental study of the influence of diamond honing regimes on the quality of cylindrical gear wheels are presented.

Relationship of work with scientific programs, plans, themes. The work is related to the research work of the Institute of Superhard Materials. V.M. Bakul NAS of Ukraine on the project P 7.4.1. "Development of technology for controlling the roughness parameters of the surface layer of geared wreaths by the method of diamond dentition after their heat treatment".

The aim of the work is to increase the reliability, wear resistance and durability of cylindrical gear wheels.

The research objective is theoretical and experimental research of technological possibilities of the process of dental homing by diamond elastic wormholes and their influence on the quality of cylindrical gear wheels.

The object of the study is the process of dental homing during the finishing of gears of hydraulic motors by diamond elastic wormholes.

The subject of the study is the influence of the modes of processing gears with diamond elastic wormholes on the roughness of the surface of the tooth.

The aim of the study. Theoretical and experimental methods: the theory of processing materials cutting, including heat treatment and the use of advanced methods of finishing parts.

Scientific novelty. The optimum modes of processing of surfaces of cylindrical gears at the finishing with diamond elastic worm gear chains of hydraulic motors are offered.

Practical meaning. Establishing optimal dental hunting regimes that make it possible to make the best use of diamond elastic toothed hoppers.

Key words: tooth-honing, diamond elastic wormhole, roughness, treatment regimes, contact surface of gear teeth.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ABSTRACT.....	6
ВСТУП	9
1. ПРОЦЕС ХОНІНГУВАННЯ, ЯК ЕТАП ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ	
1.1 Багатофакторність процесу хонінгування.....	12
1.2 Вибір критеріїв якості обробки деталей.....	14
1.3 Аналіз механо-фізико-хімічних явищ процесу різання матеріалу.....	16
1.4 Способи зубохонінгування.....	26
1.5 Висновки за розділом.....	29
2. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕОРИТИЧНИХ ЗАСАД ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ	
2.1 Постановка завдання дослідження.....	30
2.2 Вибір режимів обробки.....	31
2.3 Вибір засобів вимірювання.....	35
2.4 Технологія проведення експерименту.....	38
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ХОНІНГУВАННЯ ЗУБЦІВ ШЕСТЕРЕНЬ ГІДРОМОТОРІВ	
3.1 Умови проведення дослідження.....	40
3.2 Методика та програма випробувань.....	42
3.3 Вибір черв'ячного хону та режимів зубохонінгування.....	45
3.4 Висновки за розділом.....	52
4. РОЗРОБКА СТАРТАП - ПРОЕКТУ	
4.1 Опис ідеї проекту.....	54
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	55
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	56
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	62
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	64
4.6 Висновки за розділом.....	67
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	69
ДОДАТОК А.....	71
ДОДАТОК Б.....	73

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний рівень розвитку техніки характерний істотним збільшенням використання в різних галузях народного господарства механізмів вищих кінематичних пар з деталями зі складними формами робочих поверхонь. і одночасним підвищенням вимог до їх функціональних, експлуатаційних, економічних, екологічних та габаритних показників. Прикладами таких кінематичних пар являються зубчасті передачі різних класів, видів і типів.

Циліндричні зубчасті передачі та зубчасті з'єднання, як складова частина більшості машин і механізмів, широко використовуються в автомобіле-, тракторо-редукторо-, верстато-, літакобудуванні, в механізмах рудорозмельних млинів, в механізмах шестеренчастих насосів і гідромоторів, у вимірювачах витрат газу і рідини [1 - 6].

Одними з найбільш поширених класів зубчастих передач є циліндричні зубчасті передачі з евольвентним торцевим профілем і постійним кутом нахилу зубів на ділільному діаметрі з стандартним вихідним контуром.

Для України в умовах ринково економіки важливість проектування і якісного виготовлення зубчастих передач зі складними поверхнями пояснюється такими причинами:

- у зв'язку з масовим придбанням машин і механізмів імпортного виробництва (комбайнів, тракторів, автомобілів, верстатів з ЧПК, редукторів та ін.), простежується велика імпортозалежність і значні витрати валютних коштів при придбанні запчастин особливо зубчастих передач з нестандартним вихідним контуром. Так, за весь період експлуатації машин і механізмів, витрати на їх ремонт і технічне обслуговування у зв'язку зі зносом деталей, в кілька разів перевищують вартість самих машин і механізмів;

- низька конкурентоспроможність вітчизняних машин і механізмів через низькі експлуатаційні та ін. показники деталей механізмів у тому числі зубчастих

передач складної форми від яких багато в чому залежить якість машини або механізму в цілому;

- в даний час проблема якісного виготовлення зубчастих передач складної форми для імпорتنих машин і механізмів та вітчизняних, виготовлених для експорту вирішується закупівлею імпортного обладнання і технологій (включаючи закупівлю складнопрофільних інструментів для їх чорнової та напівчистої обробки, при необхідності зубошліфувальних інструментів та алмазних інструментів для їх правки), а також вимірювальної техніки. І знову ж, використання імпоротної техніки і технології вимагає значних валютних витрат на придбання швидкозношувального складнопрофільного імпортного ріжучого, абразивного і правлячого алмазного інструменту.

Тому проектування і виготовлення зубчастих передач на машинобудівних підприємствах України підвищеної якості, надійності і довговічності, з використанням вітчизняних модернізованих верстатів та сучасних вітчизняних інструментів із НТМ для їх обробки є актуальною народногосподарською проблемою, її рішення дозволить заощадити значні валютні кошти і виробляти вітчизняні конкурентоспроможні машини і механізми.

Складність проблеми полягає не тільки в традиційній та однією з найбільш консервативних технологій виготовлення циліндричних зубчастих передач, а й у відсутності теоретичних основ визначення множини можливих рішень, методики аналізу і синтезу цієї множини, а також в експериментальному підтвердженні отриманих нових теоретичних рішень.

Існуючі традиційні вітчизняні технологічні операції обробки зубчастих коліс: чорнової обробки (до термообробки) - зубофрезерування і зубодовбання, напівчистої - шевінгування і чистового калібрування, термообробки, чистої - зубошліфування, фінішної – зубохонінгування або обкатки, часто не відповідають вимогам сучасного світового машинобудування за цілою низкою показників (точності, стану поверхні, продуктивності, собівартості, забезпечення необхідної модифікації, експлуатаційних, екологічних показників та ін.).

Традиційні вітчизняні технології не в змозі забезпечити принципово новий рівень властивостей зубчастих передач і тому для досягнення цього рівня необхідно переходити в нову нетрадиційну область, тобто в область високих інтегрованих технологій.

Відповідно до сучасних тенденцій розробка нових систем проектування і нових технологій виготовлення складнопрофільних конкурентоспроможних зубчастих передач можливо тільки при створенні і широкому ефективному використанні теорії технічних систем синтезу зубчастих передач, що враховує весь життєвий цикл зубчастої передачі, із залученням систем автоматизованого проектування, виготовлення, виробництва та управління (CAD, CAM, CAE і ін.), визначення морфологічної множини можливих рішень, аналізі та синтезі цієї множини, а також застосування сучасних високих технологій при виготовленні зубчастих передач.

Слід зазначити, що надійність і довговічність зубчастих передач багато в чому визначається їх точністю і станом поверхневого робочого шару зубців. Точність і стан робочого поверхневого шару зубчастих передач залежить в основному від термообробки і фінішних методів їх обробки, але з урахуванням системного підходу, тобто всіх попередніх та наступних етапів життєвого циклу передачі.

Як показав аналіз та попередні дослідження, можливо прогнозувати суттєве підвищення зносостійких властивостей циліндричних зубчастих передач довговічності, надійності, моменту зрушування та інших експлуатаційних показників за рахунок використання досконалого способу алмазного зубохонінгування алмазними черв'ячними еластичними хонами.

1 ПРОЦЕС ХОНІНГУВАННЯ, ЯК ЕТАП ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

1.1 Багатофакторність процесу хонінгування

Показники якості точних деталей машин, в тому числі зубчастих коліс, багато в чому обумовлені технологією фінішної обробки і, зокрема, алмазного хонінгування.

У роботах вітчизняних і зарубіжних фахівців Бабічева А.П., Гінзбурга Б.І., , Чеповецького І.Х., Кулікова С.І., Попова С.А., Полянчікова Ю.М., Фрагіна І. Е., Сагарди А.С., та ін. теоретично і експериментально досліджено основні закономірності алмазно-абразивної обробки - хонінгування, суперфінішування, притирання. Значною мірою розроблені теоретичні проблеми механіки контактної взаємодії алмазно-абразивних брусків з оброблюваної поверхнею деталі (заготовки). Виконані багатопланові дослідження в області розрахунку та експериментального визначення мікрогеометрії, параметрів опорних кривих поверхонь абразивних і алмазних інструментів (брусків), контактних деформацій, номінальних контурних і фактичних площ і тисків, зближення і податливості в контакті, обсягів зазорів і переміщень абразивних зерен в контакті, відкрили широкі можливості вивчення фізичних і механо-хімічних процесів, що відбуваються при обробці.

Формалізація процесів хонінгування дозволила отримати розрахункові формули, що дозволяють оцінювати складно-напружений стан в зоні фактичного контакту абразивних зерен і оброблюваної поверхні, розраховувати продуктивність обробки і шорсткість обробленої поверхні, знос брусків.

Питаннями технологічних процесів зубообробки і, зокрема вирішенням проблемних питань підвищення якості та продуктивності обробки, займалися Калашніков А.С., Кривошея А.В., Грибанов В.М., Новіков Ф.В., Фрагін І.Е., Родін П.Р. та ін.

Зубохонінгування алмазними хонами дозволяє усунути невеликі задирки і забоїни, підвищити якість поверхні контакту і плавність передачі, зменшити шорсткість робочих поверхонь зуба та рівень шуму передачі. Особливістю

процесу зубохонінгування є досягнення високих показників шорсткості поверхні зубців [1,2]. На рисунку 1.1 наведені параметри, отримані при різних методах зубообробки. Пунктирними лініями показана шорсткість поверхні, що отримується в результаті збільшення часу обробки і використання додаткових технологічних засобів.

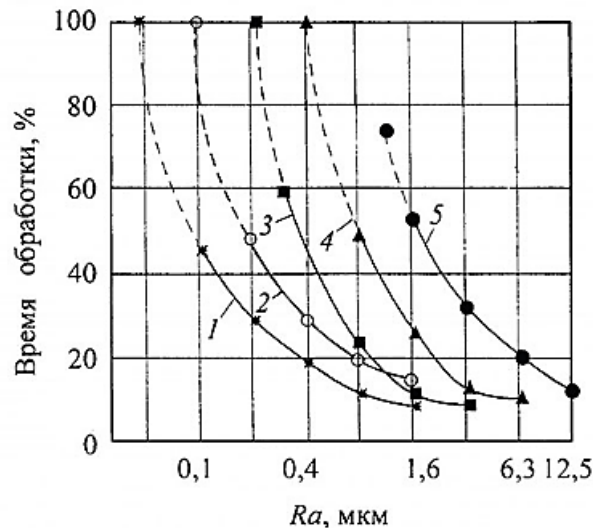


Рисунок 1.1 - Шорсткість поверхні зубів, що отримується при різних методах зубообробки: 1 - хонінгуванні; 2 - фрезеруванні після ХТО; 3 - шліфуванні; 4 - шевінгуванні; 5 - фрезеруванні і довбання до ХТО

Дана технологія характеризується високою продуктивністю але, тим не менш, як це зазначається в роботах [1, 3, 4, 5], широке застосування такого методу пов'язано з відсутністю достатньо обґрунтованих рекомендацій щодо вибору оптимальних режимів різання і налагодження операцій, що в свою чергу пояснюється малою вивченістю самого процесу хонінгування.

Однією з основних причин цього є багатфакторність процесу і, при встановленні взаємозв'язку різних факторів з шорсткістю обробленої поверхні, слід розглядати вплив параметрів режиму різання (окружної швидкості хона, подачі інструменту на оборот деталі, окружного навантаження), виду застосовуваних МОР, зернистості алмазних зубчастих хонів і та інше.

Основою процесу алмазного хонінгування є мікрорізання - дряпання матеріалу оброблюваної поверхні деталі абразивними (алмазними) зернами, хаотично розташованими на робочій поверхні хона, при їх переміщенні відносно

оброблюваної поверхні деталі в умовах безперервної подачі технологічної рідини в зону обробки і механічного тиску.

Таким чином, процес хонінгування розглядається як складний комплекс механо-фізико-хімічних явищ, в результаті протікання яких здійснюється кероване знімання металу і забезпечується досягнення необхідних показників якості обробленої поверхні.

1.2 Вибір критерію якості обробки деталей

Якість поверхні деталі - це стан її поверхневого шару як результат впливу на неї одного або декількох технологічних послідовно застосовуваних методів.

Показники якості обробки поверхонь наведені у [6,7].

Шорсткістю поверхні називають сукупність нерівностей з відносно малими кроками, виділену за допомогою базової довжини [1].

Базова довжина (l) - довжина базової лінії, яка використовується для виділення нерівностей, які характеризують шорсткість поверхні (рисунок 1.2).

Базова лінія (поверхня) - лінія (поверхня) заданої геометричної форми, певним чином проведена відносно профілю (поверхні), яка служить для оцінки геометричних параметрів поверхні.

Числові значення шорсткості поверхні визначають від єдиної бази, за яку прийнята середня лінія профілю (m), тобто базова лінія, що має форму номінального профілю і проведена так, що в межах базової довжини середньоквадратичне відхилення профілю до цієї лінії мінімальне. Систему відліку шорсткості від середньої лінії профілю називають системою середньої лінії.

Якщо для визначення шорсткості обрана ділянка поверхні довжиною l , інші нерівності (наприклад, хвилястість), які мають крок більше l , не враховують.

Довжина оцінки (L) - довжина, на якій оцінюють шорсткість і вона дорівнює $2\div 3$ базових довжин.

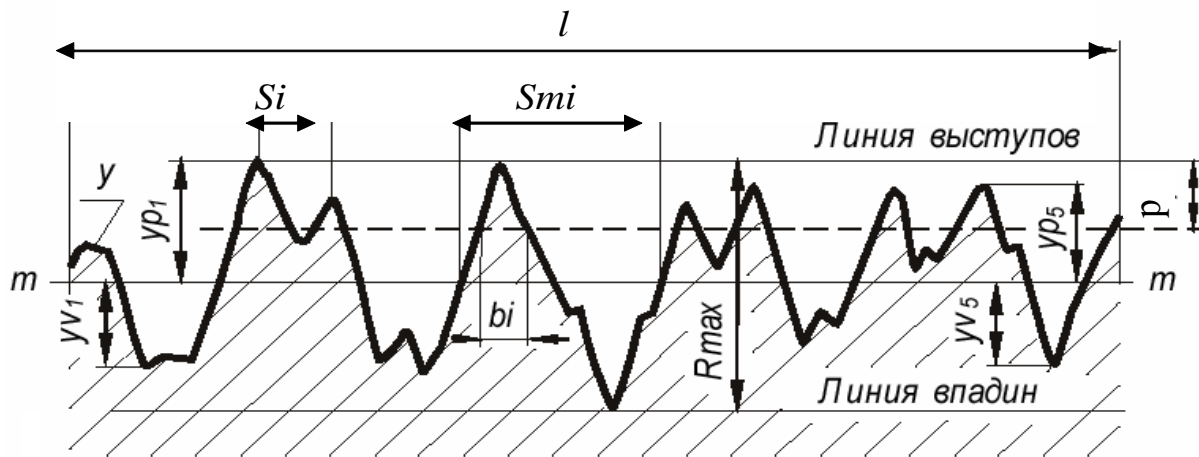


Рисунок 1.2 - Профілограма і основні параметри шорсткості поверхонь

Середньо арифметичне відхилення профілю R_a - середнє арифметичне з абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l [y(x)] dx \quad \text{або наближено} \quad R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i],$$

де l – базова довжина;

n – число вибраних точок профілю на базовій довжині;

R_a – відхилення профілю;

y - відстань між будь-якою точкою профілю і середньою лінією.

Нормується від 0,008 до 10 мкм.

Висота нерівностей профілю по десяти точках R_z - сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю і глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини:

$$R_z = \frac{1}{5} \left[\sum_{i=1}^5 [y_{pi}] + \sum_{i=1}^5 [y_{vi}] \right],$$

де y_{pi} – висота i -го найбільшого виступу профілю;

y_{vi} – глибина i -й найбільшої западини профілю.

Найбільша висота нерівностей R_{max} - відстань між лінією виступів профілю і лінією западин профілю в межах базової довжини l . Нормуються від 0,025 до 1000 мкм.

Основним (переважним) при нормуванні шорсткості поверхні є висотний параметр R_a , він краще відображає величину нерівностей профілю, оскільки визначається за значно більшої кількості точок, ніж, наприклад, R_z .

Параметр R_z нормується замість параметру R_a в тих випадках, коли прямий контроль R_a за допомогою профілометрів неможливий (контроль шорсткості ріжучої кромки інструменту і т.п.).

Всі інші кількісні параметри нормуються при необхідності в доповненні до параметру R_a (або R_z).

Для кількісної оцінки шорсткості поверхні застосовують профілографи-профілометри і профілометри.

Профілограф-профілометр складається з двох приладів в залежності від характеру вимірювальної інформації, що видається - профілографа і профілометра. Об'єднуються вони разом для розширення можливостей вимірювання поверхневих нерівностей і в зв'язку з тим, що багато функціональні вузли у них збігаються.

Ці прилади призначені в основному для роботи в лабораторії. Вітчизняна промисловість виготовляє кілька моделей приладів, заснованих на індуктивному методі перетворення коливань голки в коливання напруги.

Профілограф - прилад для вимірювання величин нерівностей поверхні в нормальному до неї перерізі у вигляді профілограмми, обробкою якої визначаються параметри, що характеризують шорсткість і хвилястість поверхні.

1.3 Аналіз механо-фізико-хімічних явищ процесу різання матеріалу

У роботах [8, 9] викладені деякі результати дослідження явищ, що відбуваються в деталі при її обробці алмазним хоном.

При контакті робочої поверхні алмазного хона з поверхнею деталі, відбувається дряпання металу одночасно великою кількістю абразивних частинок. Розмір таких часток становить 20 - 100 мкм, середнє їх число досягає 20 - 40 на 1 мм^2 . Основними видами взаємодії абразивних зерен з металом є мікрорізання зі

зняттям найтонших стружок і тертя з пластичним відтискуванням металу, що супроводжуються виділенням великої кількості тепла.

Процес мікрорізання відбувається в результаті заглиблення алмазного зерна в граничний шар оброблюваного матеріалу. Мікрорізання супроводжується зняттям стружки. При підвищенні зернистості хону збільшується товщина знятої стружки.

В процесі роботи алмазні зерна хона зазнають значних змін під впливом нагріву, ступінь якого залежить від обраного методу і режиму роботи хона. При аналізі кривих температурних залежностей встановлено [8], що алмаз має високу пластичну міцність навіть при нагріванні до 800 - 900°C, і тільки при обробці тугоплавких металів можливо його пластичне руйнування. Досить висока теплопровідність алмазу сприяє інтенсивному відведенню тепла із зони різання і, відповідно, зниженню температури в зоні контакту до 80 - 90°C.

У процесі різання зі збільшенням швидкості різання до (15 - 20) м/с контактна температура зростає швидко, а потім її значення повільно асимптотично наближається до точки плавлення оброблюваного матеріалу (рисунок 1.3).

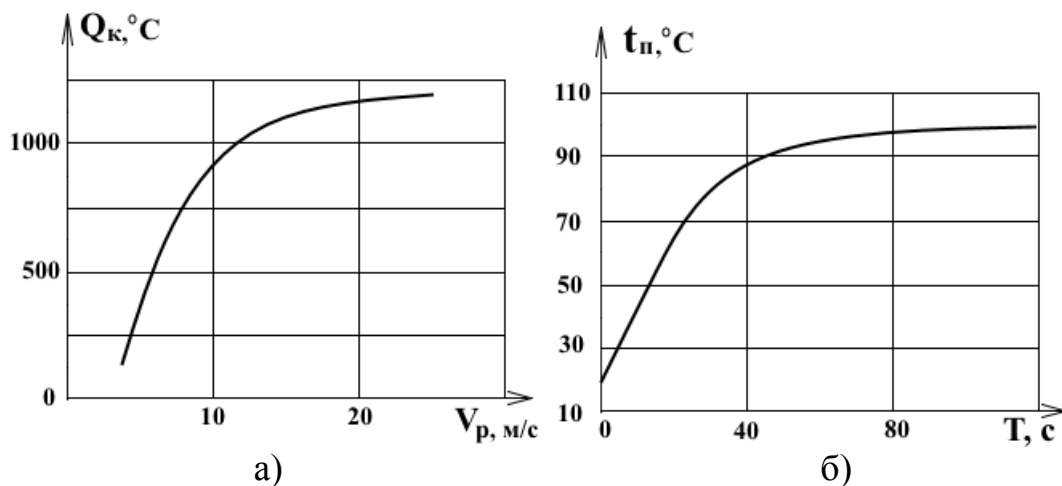


Рисунок 1.3 – а) Залежність контактної температури від швидкості різання
б) залежність поверхні деталі від часу хонінгування

Автором [8] робляться такі висновки: при високій температурі знижується твердість алмазу, підвищується його хімічна активність, зменшується стійкість. Для зменшення зносу алмазного зерна в таких умовах і отримання бездефектного

шару обробленої поверхні необхідно обробляти деталі або на малих швидкостях (до 1 м/с), або на більшій швидкості, але з малими глибинами різання, при рясному охолодження зони різання.

Фактором, що призводить до збільшення температури, є також поява так званих, продуктів зносу.

У процесі різання найдрібніші частинки «відриваються» від стружки і від оброблюваної поверхні та прилипають до алмазному зерну. В процесі хонінгування нарост збільшується в результаті налипання нових частинок, як до самого алмазу, так і до вже утвореного наросту. В результаті мікроскопічного аналізу [8] встановлено, що при відриві великих наростів часто разом з ними відривається і алмазне зерно. При появі наростів знижується ріжуча здатність алмазних зерен, зростають зусилля різання, і збільшується поверхня тертя хона по деталі. Це призводить до підвищення температури в зоні контакту і до подальшого більш інтенсивного зносу алмазних зерен.

Тому, процес різання повинен супроводжуватися рясною подачею технологічної рідини в зону мікрорізання, чим забезпечується видалення продуктів зносу і інтенсивне охолодження даної зони. В якості МОР переважно використовується гас або гас з додаванням 10-15% індустріального масла. Значно рідше використовуються деякі водорозчинні емульсії.

Вплив зернистості хону.

Залежно від зернистості хону спостерігається наступне. Зі зменшенням зернистості питоме тепловиділення різко зростає. Це відбувається з двох причин. По-перше, зі зменшенням зернистості збільшується кількість ріжучих зерен, а, отже, зменшується питомий тиск на кожне зерно і його заглиблення в метал. При цьому інтенсивніше подрібнюється стружка, і, отже, збільшується обсяг пластично деформованого металу. По-друге, при зменшенні зернистості збільшується робота зовнішнього тертя.

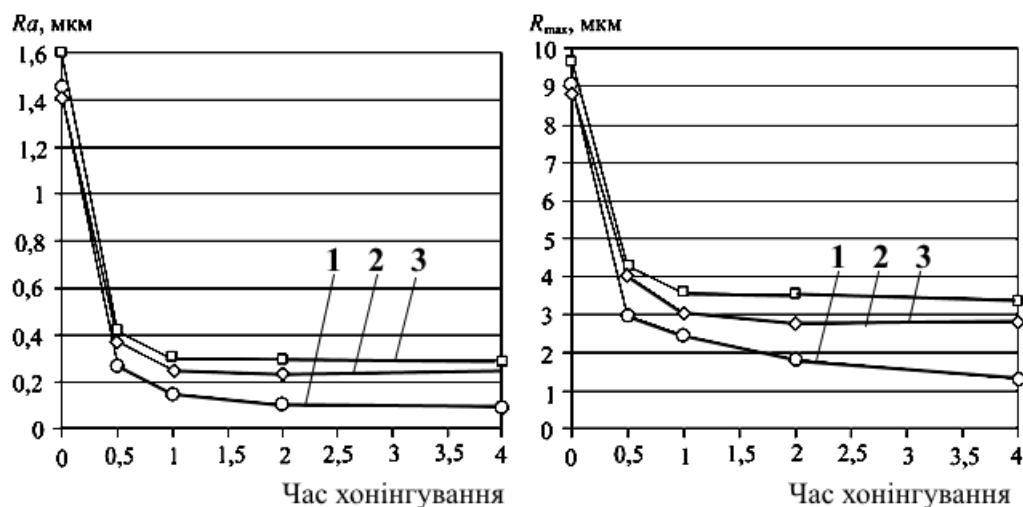
Підвищення зернистості зменшує кількість контактних зерен, але при постійній силі притиску їх до оброблюваної поверхні підвищує фактичні питомі навантаження, що припадають на одну зернину. Тому зерна мають можливість

більшого заглиблення. Зерна великих розмірів, маючи значні радіуси округлення вершин, іноді не можуть ефективно проводити дряпання, особливо при обробці пластичних матеріалів. Притуплені зерна в цьому випадку виробляють відтискування металу по краях подряпини. На початку стружкоутворення при переході від зминання до різання незначна частина металу руйнується у вигляді дрібних стружок. При подальшому збільшенні глибини мікрорізання, відсоток зруйнованого металу зростає і досягає максимального значення при оптимальному значенні відносного заглиблення (відношення глибини проникнення зерна до радіусу округлення його вершини). При відносній глибині врізання $0,04 \div 0,08$ різання неможливо. Ці значення глибини проникнення зерна відповідають початку стружкоутворенню.

Вплив часу хонінгування.

У статті [10] наведені результати експериментального дослідження (рисунок 1.4) впливу часу хонінгування і зернистості напівеластичних брусків на параметри шорсткості поверхні.

В якості базових параметрів режиму обробки були визначені швидкість обертального руху хона $28,6 \text{ м/хв}$, швидкість поступального руху 14 м/хв , алмазний хон АС15, зернистістю 40/28, 63/50 і 100/80. Вихідна шорсткість поверхні $R_a = 1,4 \dots 1,6 \text{ мкм}$.



Малюнок 1.4 - Залежність шорсткості від часу хонінгування: 1 - АС15 40/28 МД 100%; 2 - АС 15 63/50 МД 100%; 3 - АС 15 100/80 МД 100%. Матеріал деталі: а) сталь 38Х2МЮА; б) сталь, НВ 200-248

Як видно, вже після 30 секунд обробки відбувається найбільше зниження шорсткості. Надалі значного зниження не відбувається, так як повністю видаляється вихідний мікропрофіль поверхні. Менші за розміром зерна залишають менш глибокі сліди на поверхні, тому зі зменшенням зернистості шорсткість (R_a) оброблюваної поверхні зменшується.

Вплив мастильно-охолоджувальної рідини (МОР).

Важливе значення при хонінгуванні має МОР, яка забезпечує видалення продуктів зносу абразивних матеріалів і металу з робочої зони, охолодження і нормальне протікання процесу мікрорізання.

Дослідження, присвячені впливу складу МОР на ріжучу здатність алмазних і абразивних брусків при хонінгуванні, умовно можна розділити на дві групи. До першої групи слід віднести роботи, в яких в основі механізму дій МОР покладені принципи визначальної ролі механо-фізико-хімічних явищ, що протікають в зоні різання. Специфіка хонінгування полягає в створенні умов реалізації ефекту адсорбційного зниження міцності оброблюваного матеріалу.

На думку автора [9], ефективність МОР при хонінгуванні залежить від комплексу фізико-хімічних функціональних властивостей і не може визначатися тільки здатністю адсорбційного зниження міцності оброблюваного матеріалу. Максимальне зниження поверхневої енергії твердого тіла при адсорбції молекул досягає 10%, в той час, як перехід від вуглеводневих середовищ до водних викликає падіння ріжучої здатності інструменту в кілька разів [11, 12].

Друга група досліджень впливу складу МОР на процес хонінгування об'єднана думкою про визначальну роль в'язкості на основні показники. В роботі [10] відзначається зниження знімання металу при хонінгуванні з ростом в'язкості гасо-масляної суміші. До аналогічних висновків приходить І.Е. Фрагін [13], який досліджував вплив складу гасо-масляної суміші на продуктивність і шорсткість обробленої поверхні при хонінгуванні. На рисунку 1.5 представлені результати досліджень процесу хонінгування.

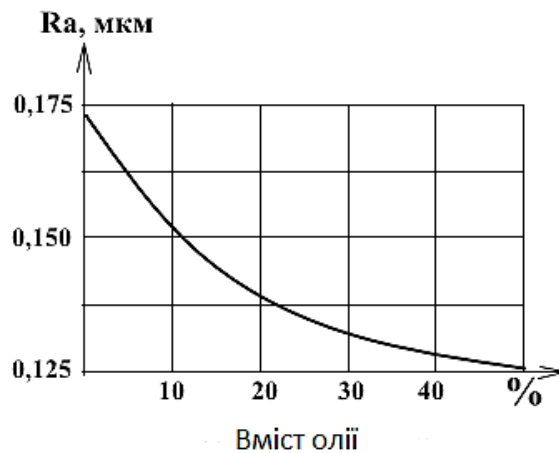


Рисунок 1.5 - Вплив вмісту олії в МОР на шорсткість

Відповідно до існуючої класифікації [15] мають місце такі функціональні властивості МОР: змащувальні, змочувальні, проникаючі, миючі.

Механізм змащувальної дії МОР відбувається за рахунок [15]:

- зменшення реакційної здатності утворених мікростружок і запобігання їх адгезійної взаємодії з абразивним зерном;
- охрупчування поверхневого шару оброблюваного металу;
- зниження тертя пари «абразив - метал».

Характерною особливістю поведінки МОР на фінішних операціях абразивної обробки є необхідність вимивання шламу з контактного простору. З цієї причини у рідин для цих операцій важливою властивістю є змочування контактуючих поверхонь і проникання в вузькі зазори.

Охолоджуючі властивості МОР при фінішній алмазної обробки не мають серйозного значення, так як тепловиділення в контакті «інструмент - заготовка» незначні.

Особливо важливим функціональним показником МОР при фінішній обробці слід вважати її миючу здатність. Дослідження впливу МОР на процеси хонінгування і суперфінішування дозволяють зробити висновок про визначальний вплив миючих властивостей на показники обробки [16]. Згідно з існуючими уявленнями миюча здатність МОР трактується, як здатність очищати поверхню інструменту від частинок шламу в контакті «інструмент - заготовка». Зменшення

дисперсності частинок руйнування металу абразивними зернами призводить до налипання їх на ріжучий профіль інструменту.

Таким чином, механізм дії МОР при хонінгуванні можна визначити такими чинниками:

- плівка рідини в контакті «алмазне зерно - метал» змінює характер фрикційної взаємодії, інтенсифікуючи або сповільнюючи стружкоутворення;
- шлам в контактному просторі регламентує динаміку і кінематику взаємодії інструменту і заготовки.

Рекомендації по вибору МОР при алмазному хонінгуванні різних матеріалів вказані в [20].

Вплив режимів різання.

Великий вплив на інтенсивність знімання металу при хонінгуванні надають прийняті режими процесу обробки: тиск, з яким хон притискається до оброблюваної деталі, швидкість зворотно-поступального руху хона або деталі і окружна швидкість хону.

Окружну швидкість і швидкість зворотно-поступального руху хонінгувального інструменту, за рекомендаціями [11,14,17], слід вибирати в залежності від необхідної продуктивності, якості поверхні і економічності обробки. При попередньому хонінгуванні, коли не потрібна висока чистота поверхні, для забезпечення максимальної продуктивності приймають найбільш високу швидкість зворотно-поступального руху хона.

Зі збільшенням швидкості висота мікронерівностей плавно збільшується. Це пов'язано з тим, що зерна частіше змінюють одні ріжучі грані на протилежні при зміні напрямку руху. Ця зміна відбувається при кожному проході інструменту й іноді з ударами, що призводить до додаткового оновлення ріжучої поверхні, сколювання кромки і погіршення якості поверхні.

Збільшення окружної швидкості обертання хону від 18 до 29 м/хв при хонінгуванні легованої сталі також викликає збільшення знімання металу. При подальшому збільшенні (до 58 м/хв) інтенсивність знімання металу, віднесена до 1 см^2 ріжучої поверхні хона, збільшується, а потім починає зменшуватися. З точки

зору кінематики процесу хонінгування збільшення окружної швидкості сприяє тому, що алмазний хон встигає більше число разів пройти по одному і тому ж місцю обробленої поверхні, в результаті чого було б очікувати збільшення знімання металу. Зменшення ж відбувається в зв'язку з погіршенням умов стружкоутворення.

Підвищення продуктивності зі збільшенням швидкостей спостерігається лише при невеликих значеннях. Після досягнення оптимальної величини подальше підвищення швидкості призводить до зменшення продуктивності.

У процесі обробки на обробленої поверхні залишаються характерні для хонінгування сліди траєкторії руху зерна у вигляді сітки (рисунок 1.6).

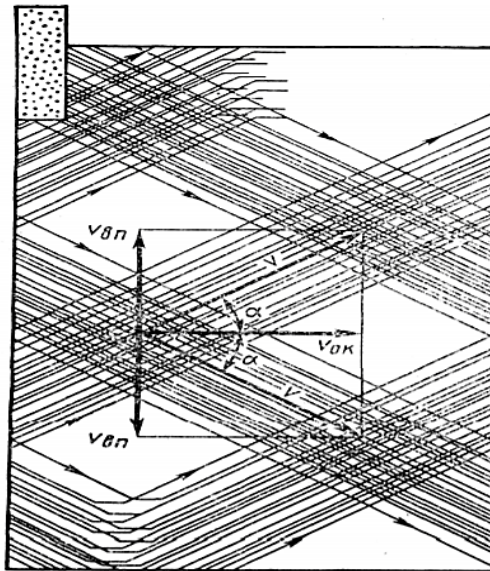


Рисунок 1.6 - Сітка слідів хонінгування

Характер траєкторії залежить від поєднання величин швидкостей поступального і обертального рухів і визначається кутом нахилу вектора швидкості різання. Зі зміною кута змінюється сітка рисок і подряпин. При малих кутах алмазне зерно може знімати довші стружки, що ускладнює їх видалення із зони різання. Однак в практиці хонінгування можна значно збільшувати швидкість зворотно-поступального руху через велику інерційність цього процесу. Тому збільшення продуктивності обробки більше пов'язано зі збільшенням окружної швидкості хонінгувального інструменту.

На підвищення продуктивності хонінгування, як зазначалося раніше, впливає збільшення сили притиску хона до оброблюваної поверхні. Із зростанням тиску ріжучі зерна глибше заглиблюються у метал. При цьому продуктивність процесу підвищується зі збільшенням тиску майже за лінійним законом, не виявляючи максимуму. Однак надмірне збільшення тиску не завжди сприяє достатньому підвищенню ріжучої здатності алмазних зерен хону і, відповідно, продуктивності, тому що при цьому збільшується знос і засалювання хону та зменшується продуктивність обробки [18].

Для зменшення висоти мікронерівностей оброблюваної поверхні слід приймати менший тиск [6].

На інтенсивність знімання металу впливає шорсткість вихідної поверхні, отриманої на попередній операції. Оскільки в початковий період роботи хон контактує з локальними ділянками поверхні, що мають вищі мікрогребінці питомий тиск різко зростає, що призводить до інтенсивного знімання. Після деякого часу роботи хона зменшується висота мікрогребінців оброблюваної поверхні, збільшується площа контакту з металом, в результаті чого зменшується питомий тиск хона на оброблювану поверхню і зменшується інтенсивність зняття металу.

Шляхом вибору оптимальних характеристик хону і регулювання параметрів обробки (швидкості різання і тиску) представляється можливим управляти процесом обробки, здійснюючи на першій стадії безперервне різання металу протягом досить тривалого часу, необхідного для усунення вихідних похибок форми і розмірів заготовки, видалення дефектного шару і забезпечення необхідної шорсткості. Для отримання поверхні з малою шорсткістю ($R_a=0,1-0,3$ мкм), а також для створення сприятливого мікрорельєфу поверхні деталей і стану поверхневого шару металу процес обробки на заключній стадії може бути переведений в режим переважаючого граничного тертя. Такий підхід можна здійснити, змінюючи параметри обробки: підвищувати швидкість обертання хону і зменшувати силу притискання.

На рисунках 1.7 – 1.10 [9, 13, 14, 20] представлені графічні залежності впливу режимів процесу хонінгування на продуктивність обробки (Q_M).

Примітка. Продуктивність обробки характеризується кількістю металу (мм^3), що знімається з поверхні за одиницю часу (с).

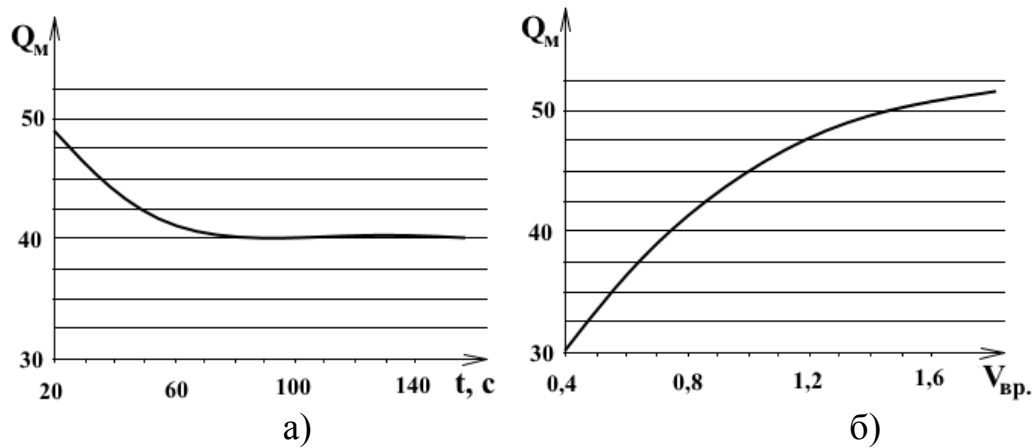


Рисунок 1.7 - Залежність інтенсивності знімання металу (в $\text{мм}^3/\text{с}$) хонем АСВ 100/80 МВ2: а) від часу хонінгування; б) від швидкості обертання хону (об/с)

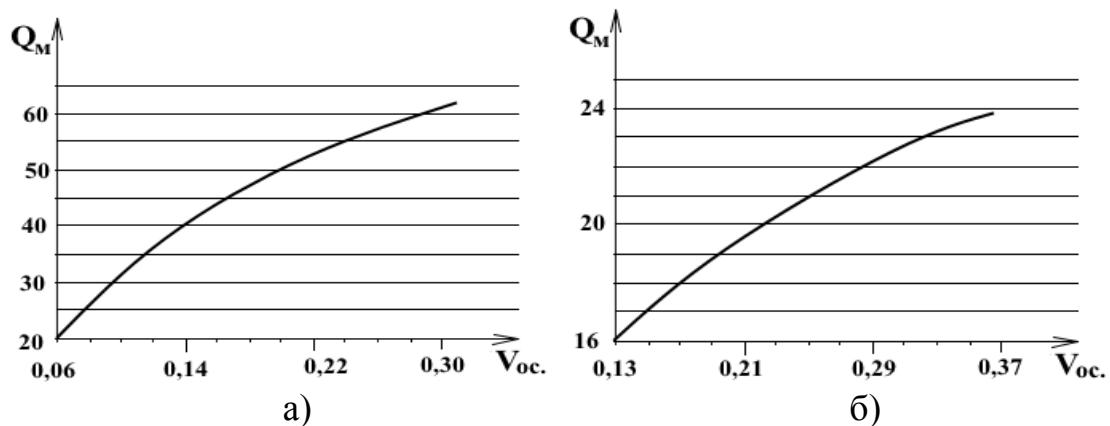


Рисунок 1.8 - Залежність інтенсивності знімання металу (в $\text{мм}^3/\text{с}$) від швидкості (м/с) осьового (зворотно-поступального) руху хона АСВ 63/50 МВ1: а) сталь 40Х; б) сталь 70

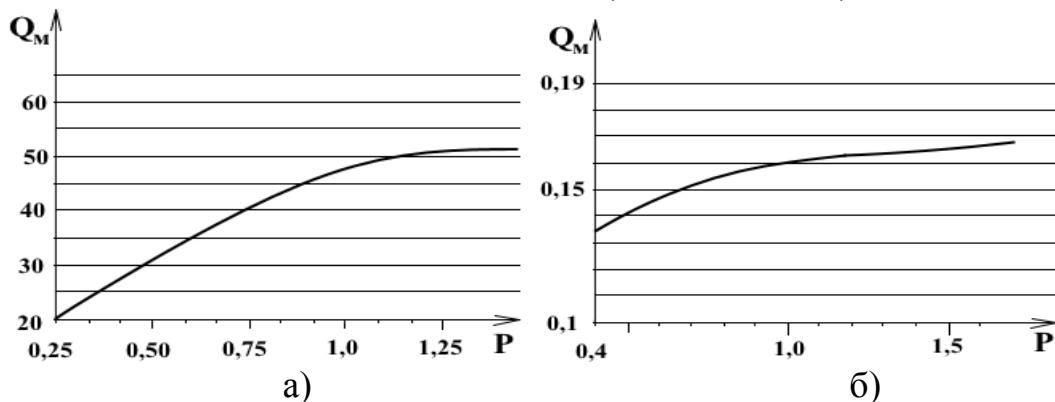


Рисунок 1.9 - Залежність інтенсивності знімання металу (в $\text{мм}^3/\text{с}$) від тиску (в МПа) хонем АСВ 63/50 МВ1: а) сталь 40Х; б) сталь 70

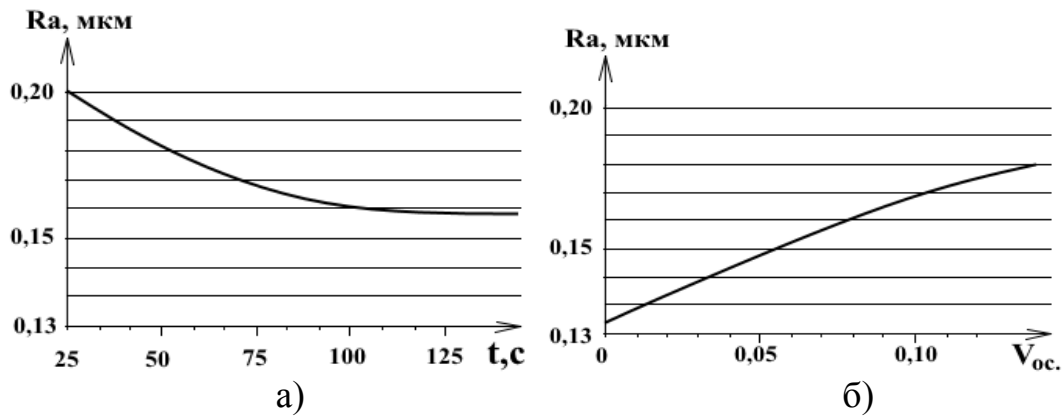


Рисунок 1.10 - Залежність шорсткості: а) від тривалості хонінгування; б) швидкості (м/с) осьового (зворотно-поступального) руху хона

1.4 Способи зубохонінгування

Алмазний хон для зубохонінгування являє собою зубчасте колесо, на профільну поверхню зубів якого нанесено гальванічним методом алмазний шар.

У промисловості застосовують два методи зубохонінгування: інструментами із зовнішнім і внутрішнім зачепленням зубців [1,2].

При хонінгуванні із зовнішнім зачепленням зубців (рисунок 1.11, а) приводним елементом є хон 1, зуби якого знаходяться в безпроміжному зачепленні з зубами оброблюваного колеса 2 при куті схрещування осей в $10-15^\circ$.

Зубчасте колесо 2 крім обертання здійснює зворотно-поступальний рух уздовж своєї вісі. Величина поздовжнього переміщення деталі повинна забезпечувати обробку зубів по всій довжині. Напрямок обертання змінюється при кожному ході столу. Підтиск деталі до хону здійснюється з силою 150 - 450Н.

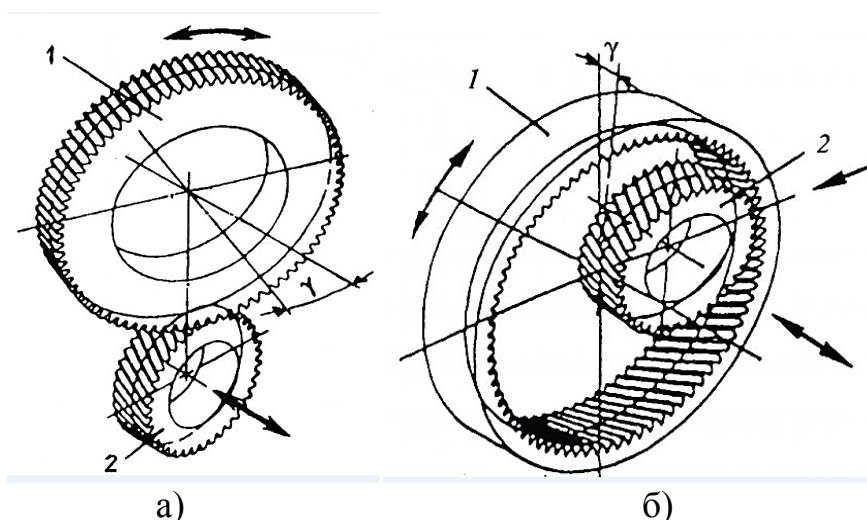


Рисунок 1.11 - Способи зубохонінгування

В процесі хонінгування вершина і профіль зуба колеса 2 постійно контактує із западиною і профілем зуба хона 1 в точках 4 (рисунок 1.12). Зубці заготовки під тиском поступово входять у западини зубів хона так, що на вершині головки зубів хона утворюється закруглення, які забезпечують плавний хід в зачепленні.

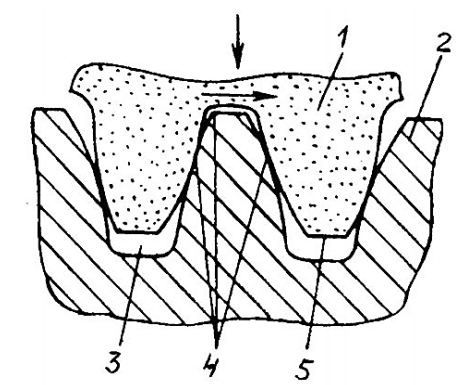


Рисунок 1.12 – безщільне двохпрофільне зачеплення зубців хона і деталі

В процесі зношування хону його зубці збільшуються по висоті. Хонінгування триває до тих пір, поки вершини зубців хону 5 не торкнуться западин 3 зубців заготовки, що може викликати їх поломку. Тому зношені зуби хону періодично правлять, знімаючи з зовнішнього діаметра хону 1-2 мм за одну правку і 15-25 мм за весь період служби, забезпечуючи необхідний радіальний зазор.

Дослідженнями встановлено [1,2], що при радіальному навантаженні хонінгування виконують з великими силами різання. Це забезпечує інтенсивне зняття металу, зменшення радіального биття зубчастого вінця і похибки напрямку зубців, скорочення машинного часу і ефективне видалення з поверхні зубців пошкоджень і задирок.

При обробці хонами із зовнішнім зачепленням використовують наступні режими обробки: число оборотів хона 180 - 250 об/хв, швидкість подачі столу 180 - 220 мм/хв, число ходів столу 4 - 8, машинний час обробки одного зубчастого колеса 30 - 60 с. Напрямок обертання хона змінюється в кінці кожного ходу столу, використовуючи реверсний рух.

Зубчастий хон із зовнішнім зачепленням є прямозубим або косозубим колесом, що складається зі сталеві маточини 2 і робочої частини 1 з абразивного матеріалу (рисунок 1.13). При алмазному хонінгуванні в якості абразивного матеріалу виступають алмазні зерна.

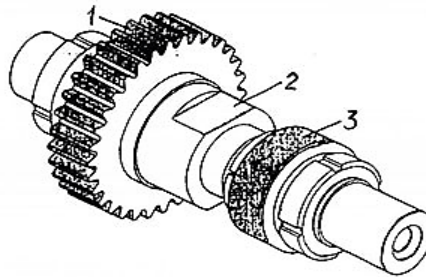


Рисунок 1.13 - Зубчастий хон із зовнішнім зачепленням

Процес зубохонінгування з зовнішнім зачепленням дозволяє при знятті невеликого припуску від 0,01 до 0,1 мм зменшити шорсткість поверхні до $R_a = 0,32 \dots 1,25$ мкм, видаляти забоїни і задирки величиною до 0,3 мм і знизити рівень шуму при зачепленні зубчастої передачі на 2 - 4 дБ. При цьому похибки параметрів зубців усуваються несуттєво.

Зубохонінгування проводять з подачею в зону різання мастильно-охолоджувальної рідини.

При зубохонінгування з внутрішнім зачепленням (рисунок 1.11, б) зачеплення зубчастого хона 1 з заготовкою 2 виконують під кутом схрещування γ .

При вільному кінематичному зв'язку ведучим елементом є хон, а при жорсткому кінематичному зв'язку обертання хона і заготовки здійснюють окремо з високою точністю синхронізації за допомогою електронної системи управління.

Ширина хона більше ширини зубчастого вінця. Крім обертання зубчастий хон здійснює радіальний рух подачі, а заготовка для поліпшення умов різання здійснює осьовий осцилюючий рух, амплітуда якого повинна бути не менше 3 ... 4 мм. Міцність зубів хона з внутрішніми зубцями в середньому на 60% вище, ніж хона з зовнішніми зубцями. Великий коефіцієнт перекриття при зачепленні хона з зубцями заготовки сприяє виправленню помилок зубців і підвищенню точності їх обробки.

При обробці внутрішнім металевим хонем з одношаровим алмазним покриттям (розмір зерна 0,25 ... 0,35 мм) і гальванічною зв'язкою між інструментом і заготовкою існує жорсткий кінематичний зв'язок. Хонінгування починається з швидкого підведення хона і врізання його в заготовку, а потім здійснюють взаємний обкат з осциляцією і без зміни напрямку обертання.

Зубохонінгування хонем з внутрішнім зачепленням застосовують в серійному і масовому виробництві для зменшення шорсткості поверхні до $R_a = 0,1 \dots 0,8$ мкм, підвищення точності зубів на 1-2 ступеня (до 6-7 ступеня точності по ГОСТ 1643-81), зниження рівня шуму при зачепленні зубів і видалення невеликих вибоїн і задирок.

1.5 Висновки за розділом

1. Характер впливу режимів процесу хонінгування (малюнки 1.7-1.10) свідчить про стабілізацію процесу через проміжки часу від 60 до 100 с. Подальше продовження процесу не приносить відчутних результатів. Даний факт підтверджує можливість оптимізації процесу.

2. На підставі результатів попередніх досліджень процесу алмазного зубохонінгування можна припустити про існування функціональних зв'язків між робочою поверхнею алмазних хонів, основних технологічних режимів хонінгування та параметрів шорсткості обробленої поверхні.

2 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕОРИТИЧНИХ ЗАСАД ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

2.1 Постановка завдання дослідження

Багатофакторність процесу хонінгування обумовлює багатоваріантність прийняття рішень у виборі інструменту, швидкості його переміщення, тиску на оброблювану деталь, розміру і матеріалу зубчастих коліс, їх твердість, склад МОР і т.д. Приблизно однакові кінцеві результати можуть бути досягнуті різним поєднанням чинників процесу хонінгування, що свідчить про актуальність проведення теоретичних і експериментальних досліджень в даному напрямку.

Наочне уявлення даного висновку можна зобразити у вигляді таблиці (таблиця 2.1), назовемо її таблицею факторів, в колонках 1, 2, 3 і 4 якої перераховані фактори, а в колонках 5, 6 і 7 - результати процесу хонінгування: інтенсивність знімання металу ($\text{мм}^3/\text{с}$), час обробки деталі (с) і шорсткість поверхні (R_a). По суті, дана таблиця являє собою граф, крайні гілки якого дають однозначну відповідь - якою буде якість поверхні при наявності факторів відповідного рівня. Всі інші варіанти не дають однозначної відповіді.

Примітка. У таблиці не представлені такі чинники, як склад МОР і кут схрещування між хоном і деталлю, подання яких може привести до значного розширення таблиці.

Таким чином, постановка задачі виглядає наступним чином:

- провести експериментальні дослідження процесу зубохонінгування з метою оцінки впливу його режимів на шорсткість зубчастих коліс.

Для вирішення поставленого завдання слід:

- вибрати режими обробки та їх параметри;
- визначитись з деталями для обробки та інструментом хонінгування;
- вибрати засоби вимірювання;
- розробити технологію проведення експерименту.

Детальми для обробки є шестерні гідромоторів з модулем 2,625 мм. Матеріал - загартована сталь 18 ХГТ, твердість HRC 58-62.

Таблиця 2.1 - Фактори, що впливають на параметри продуктивності і шорсткість поверхні

Зернистість хону, (Фракція)	Сила притиску на деталь	Окружна швидкість	Швидкість зворотно-поступат. руху	Інтенсивність знімання металу	Час обробки деталі	Шорсткість деталі (Якість)
1	2	3	4	5	6	7
крупна	збільшена	висока	висока	висока	скорочується	низька
			низька			
		низька	висока			
			низька			
	зменшена	висока	висока			
			низька			
		низька	висока			
			низька			
дрібна	збільшена	висока	висока			
			низька			
		низька	висока			
			низька			
	зменшена	висока	висока			
			низька			
		низька	висока			
			низька	низька	зростає	висока

2.2 Вибір режимів обробки

Вибір режимів обробки і подальші коригування при остаточній налагодженні процесу відносяться до числа основних завдань розробки і налагодження операцій хонінгування.

Вибір параметрів режиму обробки повинен проводитися з урахуванням властивостей оброблюваного матеріалу, точності і шорсткості поверхні до і після хонінгування, припуску, характеристики хона, твердості і конструктивних особливостей оброблюваної деталі. Оптимальним є режим, що забезпечує стабільне отримання необхідної точності розміру, шорсткості поверхні, ефективного усунення вихідних похибок.

Режим обробки при хонінгуванні включає сукупність окремих параметрів, основними з яких є: окружна швидкість обертання хонінгувальної головки (або хона), швидкість зворотно-поступального руху хона (або столу хонінгувального верстата), співвідношення між ними, склад мастильно-охолоджувальної рідини МОР і кут схрещування.

Швидкість обертання і швидкість зворотно-поступального руху

Швидкість обертання і швидкість зворотно-поступального руху хона пов'язані співвідношенням[19]:

$$\lambda = \frac{V_{об.}}{S}, \quad (2.1)$$

де $V_{об.}$ - швидкість обертання хона, в об/хв;

S - поздовжня подача, в мм/хв.

Співвідношення між швидкостями обертального і зворотно-поступального руху хону визначає кут схрещування траєкторій руху ріжучих зерен на оброблюваній поверхні.

Параметри швидкості слід вибирати в залежності від необхідної продуктивності, якості та економічності обробки. При попередньому хонінгуванні, коли не потрібна висока чистота обробки, але бажана більш висока продуктивність, рекомендується працювати з максимально високими швидкостями зворотно-поступального руху хона.

Виходячи з характеру впливу швидкості обертання на основні показники процесу хонінгування, обробку слід вести з підвищеною швидкістю як на операціях попереднього, так і остаточного хонінгування. Найбільше значення швидкості може обмежуватися інтенсивністю зносу алмазного покриття хона, надмірної температурою його нагріву та нагріву деталі, засалюванням поверхні хона і деталі та можливостями верстату.

Обираючи швидкості руху хону, необхідно враховувати співвідношення, яке визначається величиною λ . Воно має суттєвий вплив на процес стружкоутворення, знос, формування шорсткості і продуктивності хонінгування.

Зі збільшенням λ умови утворення і відведення стружки погіршуються, в результаті чого збільшується засалювання. Найкращі умови для дроблення і відведення стружки від зони різання створюються при $\lambda = 1$. Однак, з огляду на, те що швидкість зворотно-поступального руху обмежується умовами плавної роботи верстата, слід приймати $\lambda > 1$. На операціях чистового хонінгування при

зніманні малих припусків і високих вимогах до шорсткості поверхні, шляхом зниження швидкості зворотно-поступального руху і збереження постійної швидкості обертання хона, також слід величину λ збільшувати.

Змінюючи величину λ , можна в певних межах коригувати хід процесу хонінгування. Наприклад, при зайвому зносі, збільшуючи λ , можна його зменшити.

Крім того, можливі параметри швидкості залежать від матеріалу зв'язки хону. Практика застосування черв'ячного еластичного хона показала, що більш зносостійкою є зв'язка ВЗ-20, при якій допускається більш низька швидкість хонінгування (швидкість обертання 200 об/хв, швидкість поздовжньої подачі 25 мм/хв).

З урахуванням даних рекомендацій вибираємо діапазон можливої швидкості обертання хону від 200 до 350 об/хв, швидкість поздовжньої подачі від 25 мм/хв до 50 мм/хв.

Радіальне навантаження в зачепленні

Даний параметр визначає радіальну силу (зусилля) притиску хону до оброблюваної поверхні. Із зростанням навантаження ріжучі зерна хона більше поглиблюються в метал, збільшуючи тим самим, кількість металу, що знімається при обробці. Але одночасно з цим посилюється знос поверхні хону, а також в результаті утворення глибоких борозен, що залишають пособи алмазні зерна хону, погіршується шорсткість оброблюваної поверхні.

Тому, вибір значення радіального навантаження повинен визначатися постановочним завданням: якщо хонінгування проводиться в два етапи, то на першому, попередньому етапі, де потрібно прибрати нерівності і підготувати поверхню для чистової обробки, можна радіальне навантаження збільшити.

Прийнятним варіантом навантаження є зусилля від 100 Н до 200 Н.

Мастильно-охолоджуюча рідина (МОР)

Процес хонінгування здійснюється при рясній подачі мастильно-охолоджувальної рідини. Мастильно-охолоджуюча рідина (МОР) забезпечує безперервне видалення із зони різання продуктів зносу і мікрочастинок металу, а

також охолоджує оброблювану деталь. Завдяки утворенню тонкої плівки між робочою поверхнею хону та поверхнею деталі знижується тертя. Змивання осколків алмазних зерен і частинок зрізаного металу сприяє збереженню ріжучої здатності хону протягом більш тривалого часу, а також усувається можливість утворення надирів на оброблюваній поверхні. При додаванні в МОР поверхнево-активних речовин (олеїнова, нафтенова і інші кислоти, сірчисті і фосфорні сполуки) збільшується кількість металу, що знімається при обробці.

Загальні рекомендації по вибору МОР:

1 Рідини з найбільш низькою в'язкістю і високою миючої здатністю необхідно застосовувати при обробці деталей з найбільш твердих матеріалів, а також при попередньому хонінгування з метою одержання більш високої продуктивності процесу.

2 Рідини з більш високою в'язкістю слід брати при остаточному хонінгування для отримання меншої шорсткості поверхні, а також при хонінгування незагартованих сталей і інших в'язких металів і сплавів. З підвищенням в'язкості погіршуються миючі властивості рідини, вона гірше очищає зону обробки і робочу поверхню хону від відходів процесу. При додаванні в рідину мінеральних масел і поверхнево-активних речовин з метою підвищення її в'язкості утворюються більш міцні граничні плівки, які захищають оброблювану поверхню.

Оптимальним складом МОР є: гас - 90%, індустріальне масло І-20А - 10%.

Зернистість хону

Як інструмент для хонінгування використовуємо алмазні черв'ячні еластичні хони (рисунк 2.1).

При виборі зернистості алмазного хона потрібно мати на увазі, що при високих вимогах до чистоти обробки слід застосовувати дрібнозернисті хони.

Таким чином, для проведення випробувань використовуємо два хони: АС6 80/63 і АСМ 28/20



Рисунок 2.1 - Черв'ячний еластичний хон

2.3 Вибір засобів вимірювання

Для контролю параметрів процесу та деталей застосовуємо наступні вимірювальні засоби.

1 Динамометр ДОСМ-3-01 (рисунок 2.2) - для контролю зусилля притиску хона до поверхні деталі.

2 Профілометр ПМ-10 фірми «Мікротех» (рисунок 2.3) - для вимірювання параметрів шорсткості поверхні зубів.

3 Штангензубомір (рисунок 2.4) - для вимірювання величини припуску.

4 Нормалемір БВ50-45 ЛИЗ (рисунок 2.5) використовуються для вимірювання відхилення і коливання довжини загальної нормалі циліндричних зубчастих коліс зовнішнього зачеплення. Нормалеміри оснащуються вимірювальною важільно-зубчастою голівкою 2ІГ та індикатором годинного типу ІЧ10 контролю зубчастих коліс з модулем від 1 мм.



Рисунок 2.2 - Зовнішній вигляд динамометра ДОСМ-3-01



Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд профілометра ПМ-10

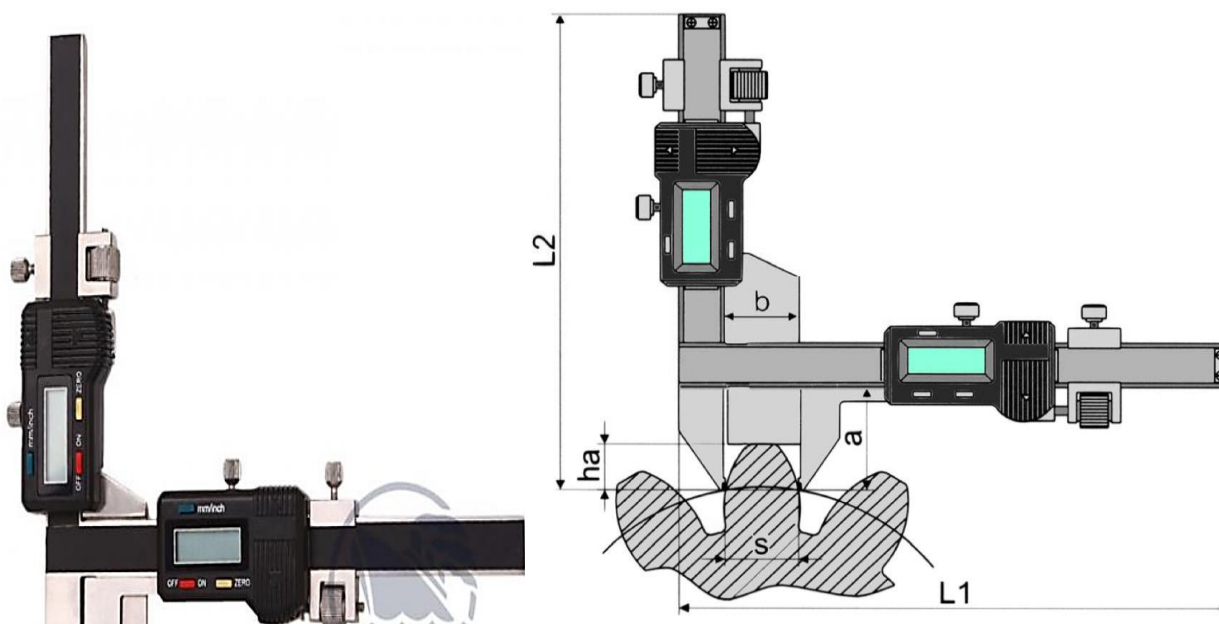


Рисунок 2.4 - штангензубоміри:

а) зовнішній вигляд; б) вимірювані параметри зуба



Рисунок 2.5 - Зовнішній вигляд нормалеміру БВ5045 ЛІЗ

Технічні характеристики:

1 Динамометр ДОСМ-3-01:

- найбільша границя вимірювання: 1 kN (100кг).
- найменша границя вимірювання: 0,1 kN (10кг).
- ціна найменшої поділки шкали від найбільшої межі вимірювання не більше: . 0,2%

2 Профілометр ПМ-10:

- вимірювані параметри шорсткості поверхні:

$R_a, R_z, R_q, R_t, R_c, R_{max}, R_{sm}, R_{pc}, R_{mr}$ (ISO 4287 - 1)

R_t, R, R_x, P_{pc} ISO (12085)

- діапазон вимірювання, мкм:

R_a 0,02 - 75,00

R_t 0,05 - 300,00

- дискретність, мкм 0,001

- величина відсічок кроку 0,25; 0,8; 2,5

- кількість відсічок кроку 1 - 5

- межа допустимої похибки, мкм

в діапазоні вимірювання:

від 0,02 до 75 мкм $\pm (0,08 + 0,02 \cdot R)$

від 0,05 до 300 мкм $\pm (0,1 + 0,02 \cdot R)$

3 Штангензубомір:

- межа вимірювань, мм М 1 - 25

- похибка вимірювання, мм:

A 30,5

B 21,0

L1 166,0

L2 166,0

4 Нормалемір БВ - 5045 ЛИЗ:

- межа вимірювання, мм	0 - 120
- модуль коліс, мм ..	від 1
- ціна ділення індикатора ІЧ, мм .	0,01
- ціна ділення індикатора 2ІГ, мм	0,002
- діапазон показань ІЧ, мм	. 0 - 10
- діапазон показань 2ІГ, мм .	$\pm 0,1$
- похибка ІЧ, мм	
клас АВ	$\pm 0,015$
клас В	$\pm 0,025$
- похибка 2ІГ, мм	
клас АВ	$\pm 0,007$
клас В	$\pm 0,008$

2.4 Технологія проведення експерименту

Завданням експерименту не є забезпечення необхідного рівня шорсткості. Потрібно оцінити вплив режимів хонінгування на зміну шорсткості. Тому, процес хонінгування не поділяємо на етапи попередньої і фінішної обробки поверхні деталі, тобто вся партія деталей, що підлягає обробці, поділяється на дві частини, кожна з яких обробляється одним з двох хонів.

Верстат для зубохонінгування повинен бути оснащений автоматичною поздовжньої і поперечної подачами, а також можливістю автоматичного реверсу обертання інструменту (хона).

Порядок проведення експерименту наступний.

1 Кожну шестерню ретельно промити в розчині уайт-спіриту і просушити.

2 Пронумерувати все шестерні.

3 На двох зубах кожної шестірні виміряти параметри шорсткості по обидва боки бічних поверхонь зубів, уздовж лінії зуба і за профілем. Результати вимірювань записати в заздалегідь підготовлену таблицю.

4 За допомогою штангензубоміри і нормалемером визначити по кожному зубу величину знімання припуску (шляхом вимірювання товщини зубця). Записати результати вимірювання в таблицю.

5 Встановити і закріпити на верстаті для зубохонінгування хон АС6 80/63.

Примітка. Для другої партії шестерень встановити хон АСМ 28/20.

6 Встановити і закріпити на верстаті для зубохонінгування шестерню, що підлягає обробці.

7 Встановити на верстаті необхідну швидкість обертання хона (в діапазоні від 200 до 350 об/хв), необхідну швидкість поздовжньої подачі (в діапазоні від 25 мм/хв до 50 мм/хв) і необхідне значення радіального навантаження (в діапазоні від 100 Н до 200 Н).

Примітка. Конкретні значення режимів встановлюються за місцем проведення експерименту.

8 Виконати обробку деталі. Кількість робочих ходів 4.

Примітка. В процесі обробки шестерні, напрямок обертання хона слід змінювати, тобто вмикати реверс інструменту в кінці кожного з проходів.

9 Після чотирьох проходів, зняти з верстата шестерню, промити в розчині уайт-спіриту, просушити і протерти.

Виміряти параметри шорсткості по обидва боки бічних поверхонь зубців, уздовж лінії зубця і за профілем. Результати вимірювань записати в таблицю.

10 За допомогою штангензубоміру і нормалеміру визначити по кожному зубцю величину знімання припуску (шляхом вимірювання товщини зуба). Записати результати вимірювання в таблицю.

11 Встановити цю шестерню на верстат і виконати ще 8 проходів з тими ж параметрами режимів.

12 Після додаткових восьми проходів, зняти з верстата шестерню, промити в розчині уайт-спіриту, просушити і протерти.

Виміряти параметри шорсткості по обидва боки бічних поверхонь зубців, уздовж лінії зубця і за профілем. Результати вимірювань записати в таблицю.

13 За допомогою штангензубоміру і нормалеміру визначити товщину зубця. Записати результати вимірювання в таблицю.

14 За результатами вимірювання виконати статистичний аналіз.

15 Зробити висновки.

З РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ХОНІНГУВАННЯ ЗУБЦІВ ШЕСТЕРЕНЬ ГІДРОМОТОРІВ.

3.1 Умови проведення дослідження

За домовленістю представників Інституту надтвердих матеріалів (ІНМ), ПАТ «Гідросила» та магістранта дослідження процесу алмазного зубохонінгування проводилось при зубохонінгуванні заготовок шестерень гідромоторів, які попередньо пройшли термообробку та були оброблені за технологією чистового зубофрезерування черв'ячними фрезами фірми «LMT FETTE» на фрезерувальному станку фірми «LIEBHERR». Вихідні параметри шестерень наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Вихідні параметри шестерень згідно креслень

Назва і позначення параметру	Одиниця виміру	Значення
Модуль, m	мм	2,625
Кількість зубців, Z	шт	12
Ширина зубчастих вінців, B	мм	10
Кут нахилу лінії зуба	град.	0
Характеристика профілю	-	евольвента
Параметри вихідного контуру	-	ГОСТ 13755-81
Коефіцієнт зміщення вихідного контуру	-	+0,1
Ступінь точності	по DIN 3962	8-8-7

Дослідження процесу хонінгування алмазними еластичними черв'ячними хонами проводилось на попередньо механічно та термооброблених ведених шестернях марки GM6K-4-00-08RM гідравлічного мотору з робочим об'ємом $6,3 \text{ см}^3$ у кількості 50 одиниць. Матеріал шестерень – легована сталь 18ХГТ. Твердість після загартування та цементації 58-63 HRC.

Дослідження в частині оцінки точності та шорсткості зубців шестерень гідромоторів до і після алмазного зубохонінгування проводились в умовах ПАТ «Гідросила» на діючому обладнанні підприємства.

Фото фрезерувального верстата з ЧПК «LIEBHERR» моделі BCH332NC22 з встановленою черв'ячною фрезою фірми «LMT FETTE» на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 - Фрезерувальний верстат з ЧПК «LIEBHERR» моделі BCH332NC22

Але після чистового зубофрезерування загартованих шестерень спостерігається значні коливання жорсткості поверхні, як вздовж лінії зуба, так і вздовж його профілю. При цьому показники шорсткості знаходяться в межах від 0,4 до 0,8 мкм. вздовж профілю зуба та в межах від 0,15 до 0,35 мкм вздовж лінії зубця.

Отримані результати після чистового фрезерування на даний час не влаштовують вимоги споживачів до точності переміщень рухомих органів, моменту зрушення, шуму та інших експлуатаційних показників гідромоторів.

Тому був запропонований найбільш сучасний та ефективний фінішний метод зменшення жорсткості поверхні зубців шестерень з отриманням високих та сталих показників шорсткості зубців як вздовж профілю так і вздовж поздовжній лінії зуба, а саме - *зубохонінгування алмазними черв'ячними еластичними хонами*

на модернізованих серійних горизонтально фрезерних верстатах. Експериментальним методом дослідження визначені оптимальні режими протікання процесу обробки деталей та запропоновані подальші напрямки удосконалення алмазного хонінгування еластичними черв'ячними хонами в умовах реального виробництва.

3.2 Методика та програма випробувань

Випробування процесу алмазного хонінгування проводилось на широко-універсальному фрезерному верстаті мод. 6М82Ш, з використанням спеціального пристосування, яке забезпечувало пружний зв'язок в парі інструмент-деталь. Для виміру та контролю сили притиснення хону до шестерні використовували попередньо прокалібрований динамометр ДОСМ-3-01. Процес вимірювання сили притиснення зображений на рисунку 3.2.

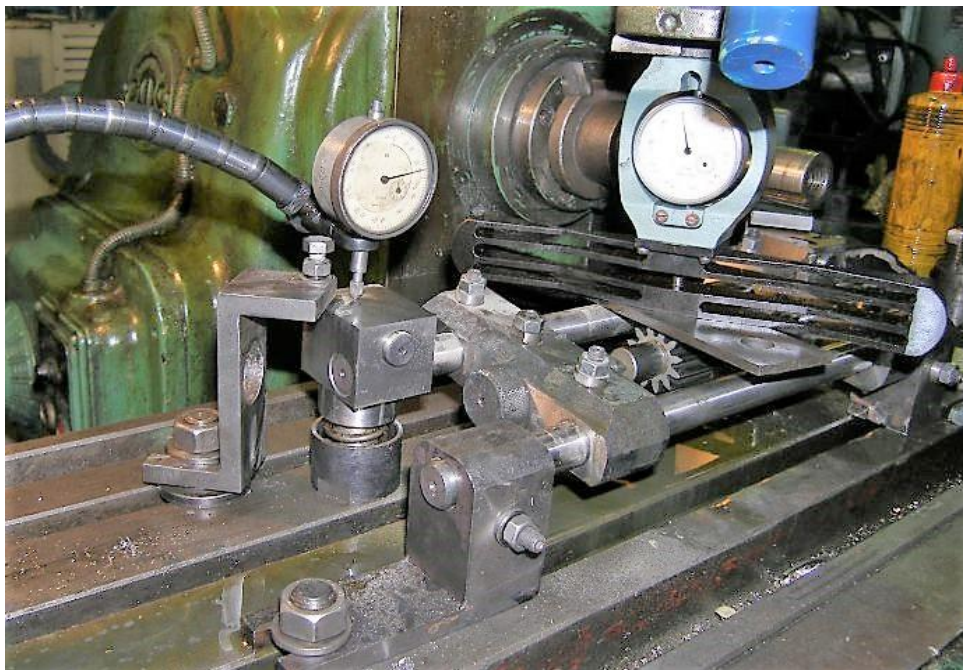


Рисунок 3.2 - Вимірювання динамометром ДОСМ-3-01 сили притиснення

Оптимальні значення сили притиснення для процесу обробки шестерні еластичним черв'ячним хонем визначено в межах від 100 до 200 Н, (приблизно від 10 до 20 кг.), тому що збільшення тиску понад 200 Н призводить до нагрівання зони контакту та еластичної основи черв'ячного хону до появи неприємного

запаху розігрітої гуми. При цьому прискорюється процес утворення шламу, як продукту руйнування абразивних та зв'язувальних компонентів хону. Зменшення сили притискання нижче 100 Н не забезпечує необхідних умов для сталого та якісного процесу обробки.

Також обов'язковою умовою перед обробкою шестерень було виставлення кута схрещування $\gamma = 1^\circ$ в парі інструмент-деталь для рівномірної обробки.

Усі шестерні, що проходили випробування були пронумеровані та вимірювались за параметрами точності на зубовимірювальній машині фірми Carl Zeiss «Mar Gear GMX 275C», рисунок 3.3.

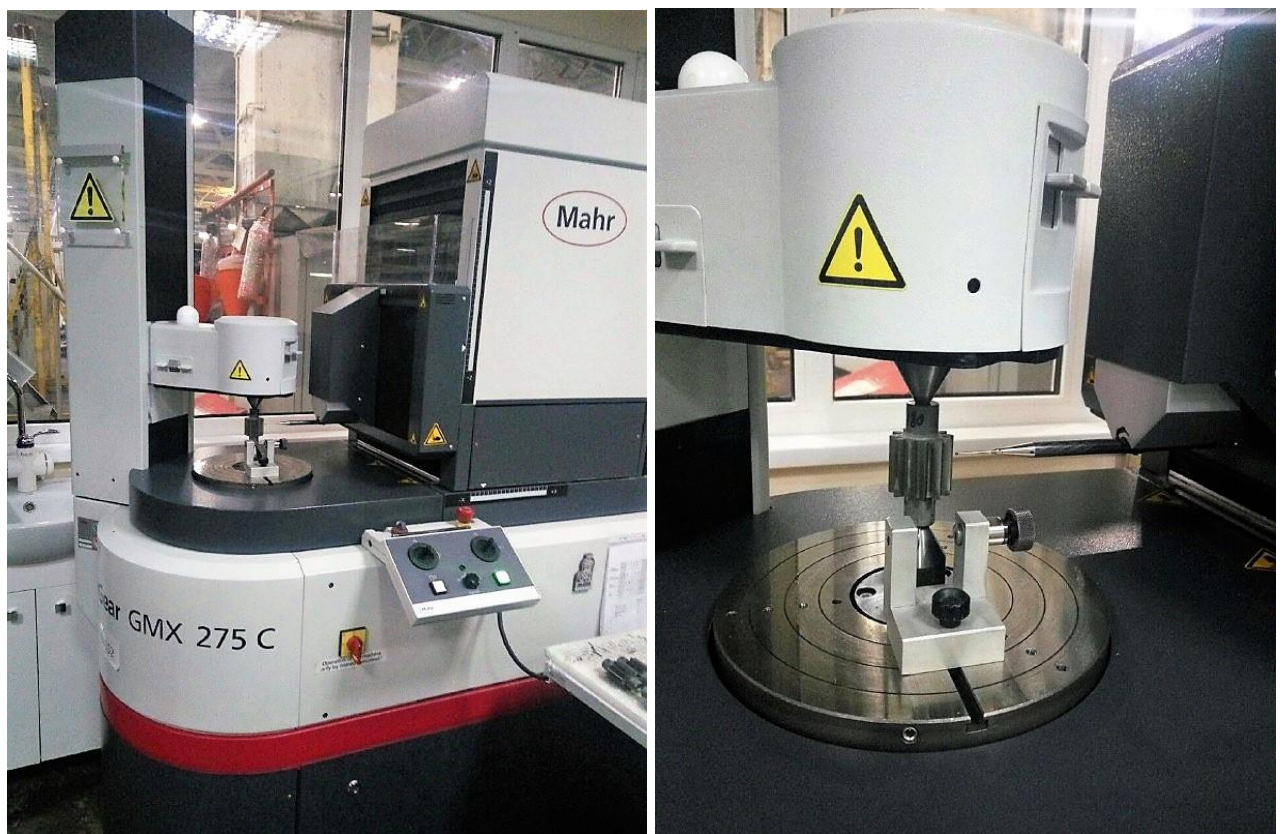


Рисунок 3.3 – Вимірювання параметрів точності зубців шестерень на зубовимірювальній машині «Mar Gear GMX 275C»

Примірники протоколів вимірювань зубців шестерень до і після процесу зубохонінгування наведені у додатках А та Б.

Вимірювання шорсткості бічних поверхонь виконувалось на вимірювальному комплексі оснащеним приладом ПМ-10 фірми «Мікротех» та ПЕОМ, рисунок 3.4.

При цьому 17 шестерень були використані для налагодження процесу хонінгування та пошуку оптимальних режимів обробки, а 33 штуки безпосередньо для проведення випробувань.

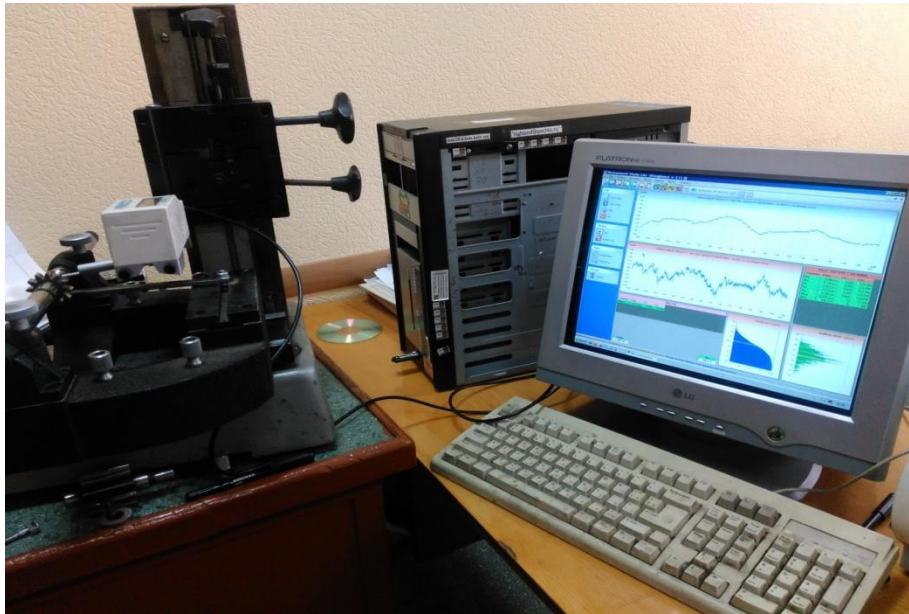


Рисунок 3.4 – Вимірювання шорсткості шестерень на вимірювальному комплексі оснащеним приладом ПМ-10

Кожну шестерню перед виміром шорсткості ретельно промивали в розчині Уайт - спіриту, просушували і витирали, після чого шестерні були пронумеровані.

На кожній шестерні до і після зубохонінгування замірювалась шорсткість на двох зубцях розташованих під 180 градусів, з обох бічних поверхонь зубців (лівої та правої) уздовж прямолінійної лінії зубця і уздовж торцевого перетину шестерень, тобто уздовж профілю зубця.

На кожній шестерні замірялася шорсткість вздовж профілю зубця на трасі 0,75мм при кроці відсічення 0,25мм., а при вимірі уздовж лінії зубця на треку 4 мм при кроці відсічення 0,8мм.

Шорсткість до і після зубохонінгування при кожному вимірі оброблялася на ПЕОМ та зберігалася в її пам'яті.

Визначались та фіксувалися наступні параметри профілю R_a , R_g , R_t , R_z , R_c , R_{sm} , R_{pc} , R_{max} , а також опорна крива. Кожний вимір дублювався три рази і для оцінки приймалося середнє арифметичне значення шорсткості. Вихідні параметри точності і шорсткості шестерень наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Вихідні параметри точності і шорсткості шестерень

Найменування параметру	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Сумарна похибка профілю	F_a	мкм	≤ 28
Похибка форми профілю	f_{fa}	мкм	≤ 28
Похибка нахилу профілю	$f_{на}$	мкм	$\leq \pm 20$
Накопичена похибка кроку	F_p	мкм	≤ 40
Радіальне биття зубчастого вінця	F_r	мкм	≤ 32
Похибка направляючої лінії бічної поверхні зуба	$f_{f\beta}$	мкм	10,0
Шорсткість уздовж евольвентного профілю бічної поверхні зуба (за результатами вимірів)	R_{a1}	мкм	0,6-0,3
Шорсткість уздовж направляючої лінії бічної поверхні зуба (за результатами вимірів)	R_{a2}	мкм	0,33-0,076

3.3 Вибір черв'ячного хону та режимів зубохонінгування

При виборі найкращого варіанту виконання процесу хонінгування бічної поверхні зубців шестерень був врахований практичний досвід з розробки та виготовлення алмазних еластичних хонів Інституту надтвердих матеріалів, м. Київ [3, 4, 5].

При виготовленні алмазних еластичних черв'ячних хонів та попередніх випробувань процесу зубохонінгування бічних поверхонь зубців шестерень були виявлені недоліки конструкції черв'ячних хонів і технології їх виготовлення. Корпус хону був виготовлений із конструкційної сталі, що призводило до значної ваги хонів і, враховуючи необхідність обробки бічних поверхонь зубців шестерень під тиском, до значних динамічних навантажень при зубохонінгуванні.

Це відображалось на погіршенні шорсткості при обробці. Тому з метою покращення результатів процесу зубохонінгування корпус наданого для обробки шестерень черв'ячного хона виготовлено із алюмінієвого сплаву Д16Т.

Для підвищення сумарної стійкості хонів також була підвищена висота алмазоносного кільця хона. З метою підвищення точності алмазоносних кілець перед закріпленням їх в корпусі хона вони правились абразивним шліфувальним кругом як по профілю так і по товщині.

Параметри алмазного еластичного черв'ячного хона наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Характеристика алмазного еластичного черв'ячного хона.

Найменування параметру	Позначення	Одиниця виміру	Чисельне значення
Модуль	m	мм	2,625мм
Зовнішній діаметр	De	мм	125
Крок по нормалі до профілю	P	мм	8,242
Кут профілю вихідного контуру	a	град.	20
Число заходів	K	шт.	1
Кількість витків	n	шт.	3
Розміри профілю в нормальному перетині	H	мм	3,28
	S	м	4,0
Зв'язка	B3-20	-	-
Зернистість	-	мкм	80/63-28/20

Режими обробки за якими відбувалося зубохонінгування шестерень під час дослідження наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Режими зубохонінгування

Найменування параметра	Позначення	Одиниця виміру	Чисельне значення
Частота обертів хона	n	об/хв	200-315
Поздовжня подача	S	мм/хв	25-50
Кількість робочих ходів	N	шт.	4-12
Радіальне навантаження в зачепленні	Q	Н	150
Час одного проходу хонінгування при ширині вінця $B = 10$ мм і розміром подачі $S = 25$ мм/ хв	t	сек.	40

В процесі зубохонінгування використовувалась змащувально-охолоджувальна рідина - суміш гасу - 90% та індустріального масла I-20 - 10%.

Процес зубохонінгування поверхонь зубців шестерень модулем $m=2,625$ мм. та зовнішній вигляд еластичного черв'ячного хону відображені на рисунках 3.6 і 3.7.



Рисунок 3.6 - Процес хонінгування шестерні



Рисунок 3.7 - Еластичний черв'ячний хон

Для порівняння параметрів шорсткості наведемо результати вимірювань до і після обробки зубців шестерень по профілю хонами з різними характеристиками зернистості та різною кількістю проходів хону, рисунки 3.8 та 3.9.

Отримані дані вимірів шорсткості поверхонь зубців до і після обробки були проаналізовані з допомогою статистичного методу, а саме закону нормального розподілу на ПЕОМ в програмі Microsoft Excel з метою встановлення стабільності отримання якісно обробленої поверхні зубців шестерень.

В залежності від направлення виміру шорсткості поверхні, характеристики хону (зернистості) та кількості його проходів побудовані графіки розсіювання (Гаусса) вздовж лінії зубця та вздовж його профілю, рисунки 3.10 – 3.13

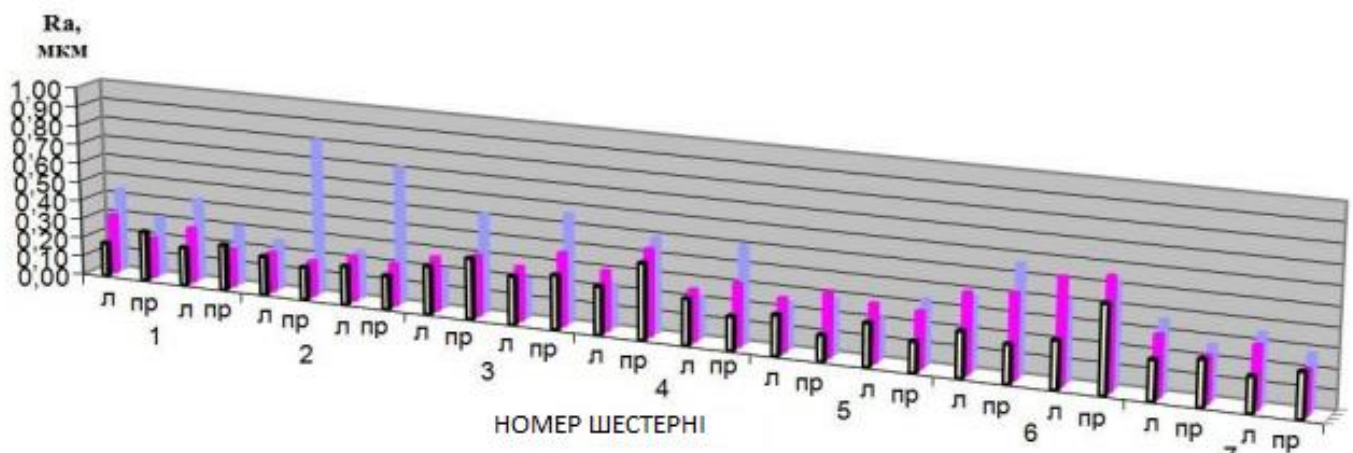


Рисунок 3.8 - Середнє значення шорсткості вздовж евольвентного профілю після чистового фрезерування (стовпчики синього кольору), після зубохонінгування за 4 проходи (стовпчики рожевого кольору, та за 12 проходів (прозорі стовпчики білого кольору). Характеристика хону ACM 28/20

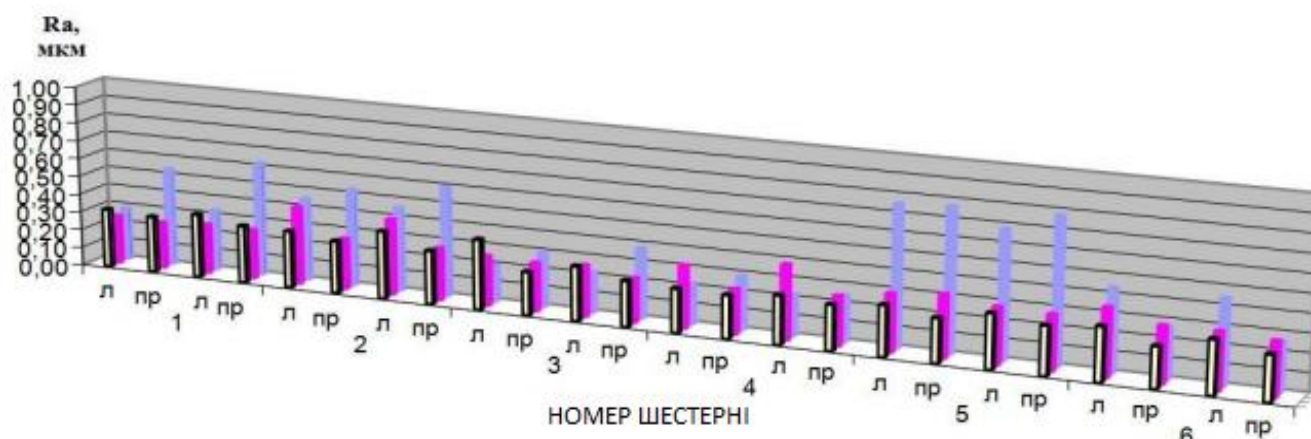


Рисунок 3.9 - Середнє значення шорсткості вздовж евольвентного профілю після чистового фрезерування (стовпчики синього кольору), після зубохонінгування за 4 проходи (стовпчики рожевого кольору, та за 12 проходів (прозорі стовпчики білого кольору).

Характеристика хону АСМ 80/63

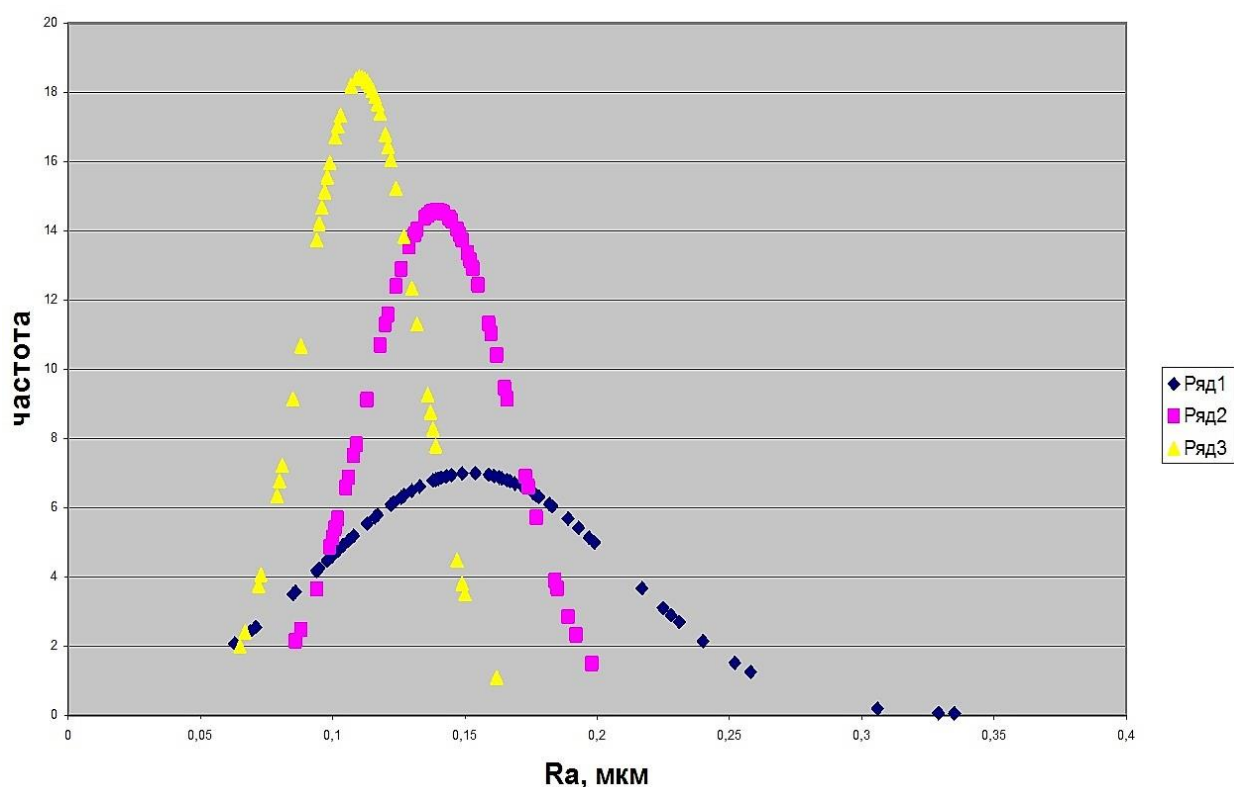


Рисунок 3.10 - Крива розсіювання (Гаусса) шорсткості вздовж лінії зубця (R_a) після чистового фрезерування (синій колір, ряд з ромбічними позначками), після зубохонінгування за 4 проходи (рожевий колір, ряд з квадратними позначками), та за 12 проходів (жовтий колір, трикутні позначки). Характеристика хону АС6 80/63 модуль 2,625 мм

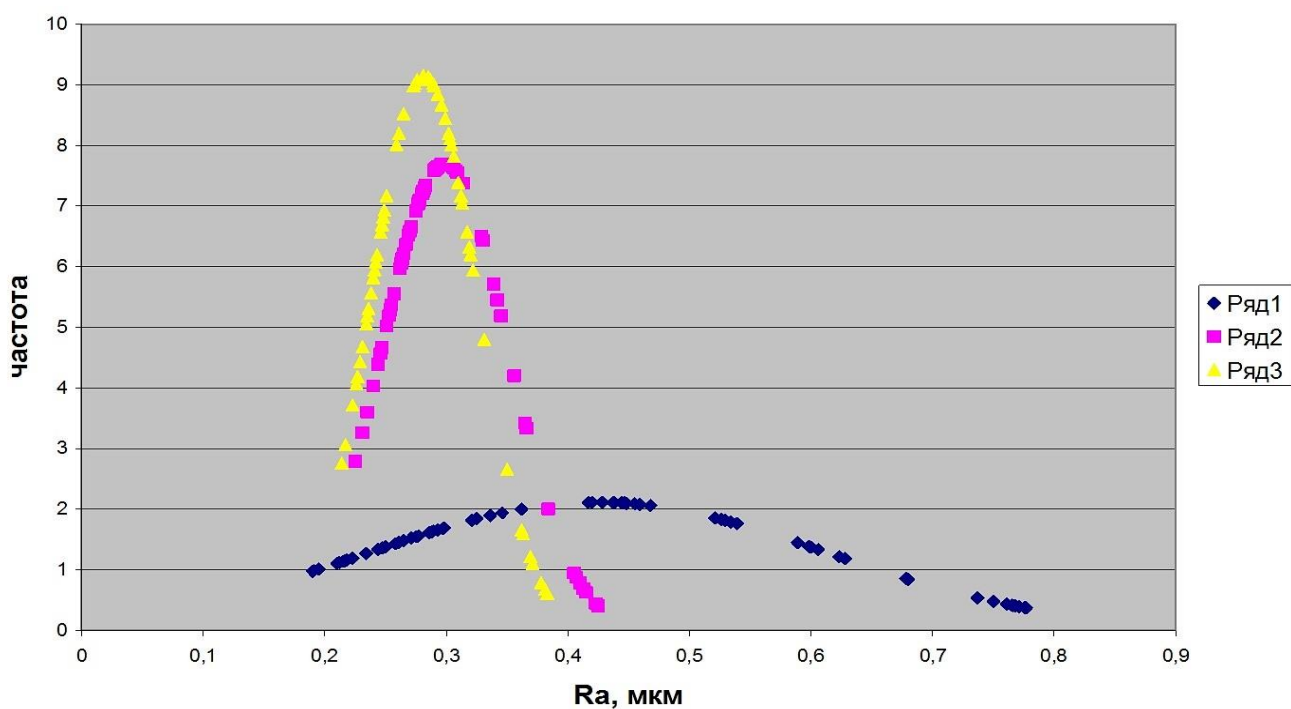


Рисунок 3.11 Крива розсіювання (Гаусса) шорсткості по профілю зубця (R_a) після чистового фрезерування (синій колір, ряд з ромбічними позначками), після зубохонінгування за 4 проходи (рожевий колір, ряд з квадратними позначками), та за 12 проходів (жовтий колір, трикутні позначки). Характеристика хону АС6 80/63 модуль 2,625 мм.

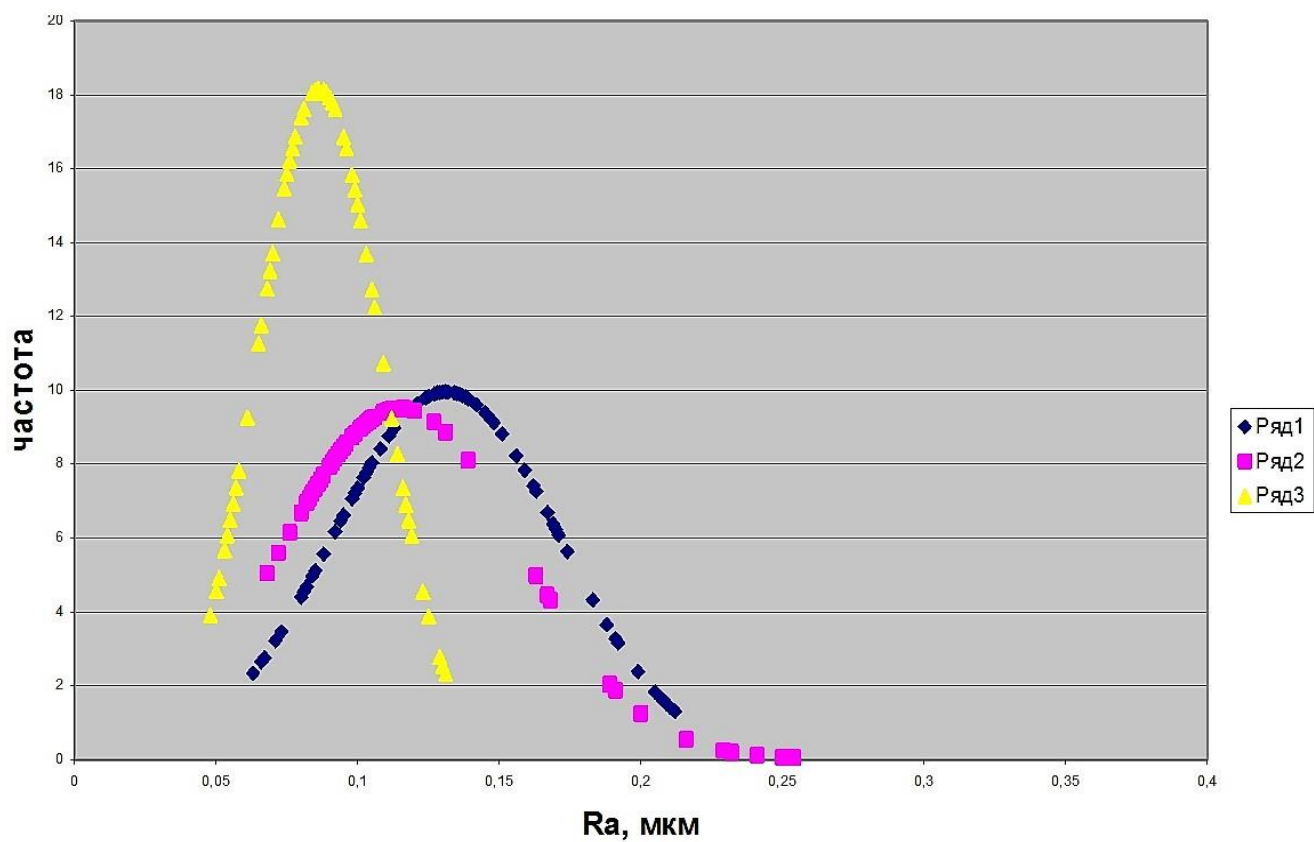


Рисунок 3.12 Крива розсіювання (Гаусса) шорсткості вздовж лінії зубця (R_a) після чистового фрезерування (синій колір, ряд з ромбічними позначками), після зубохонінгування за 4 проходи (рожевий колір, ряд з квадратними позначками), та за 12 проходів (жовтий колір, трикутні позначки). Характеристика хону АСМ 28/20 модуль 2,625 мм

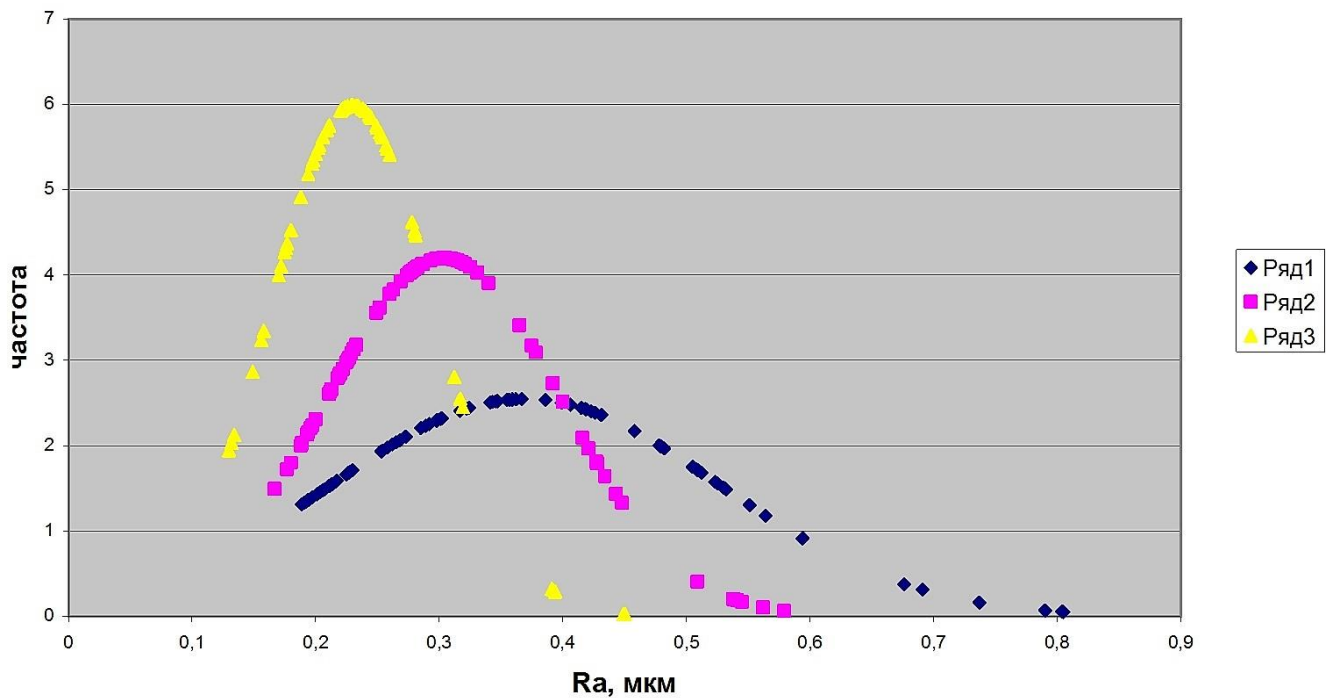


Рисунок 3.13 Крива розсіювання (Гаусса) шорсткості по профілю зубця (R_a) після чистового фрезерування (синій колір, ряд з ромбічними позначками), після зубохонінгування за 4 проходи (рожевий колір, ряд з квадратними позначками), та за 12 проходів (жовтий колір, трикутні позначки). Характеристика хону АСМ 28/20 модуль 2,625 мм

Як показали результати дослідження та результати проведеного статистичного аналізу після чистового зубофрезерування термооброблених шестерень гідромоторів шорсткість бічних поверхонь зубців вздовж евольвентного профілю коливається в межах 0,80-0,20 мкм, а після зубохонінгування в межах 0,38-0,22 мкм. Шорсткість поверхонь вздовж лінії зубця після чистового зубофрезерування коливається в межах 0,28-0,1 мкм, а після зубохонінгування покращується до 0,2-0,08 мкм.

З аналізу отриманих даних щодо фактичного стану бічних поверхонь зубців за показниками шорсткості та кривих Гаусса встановлено, що процес обробки шестерень алмазними еластичними черв'ячними хонами забезпечує високу стабільність отримання якісних та кількісних характеристик поверхонь.

Застосування процесу алмазного зубохонінгування поверхонь зубців шестерень дозволяє отримати якісну деталь навіть при використанні заготовок з достатньо великим розкидом кількісних параметрів шорсткості.

При цьому вихідні параметри точності практично не змінилися.

За результатами дослідження встановлено, що показники шорсткості поверхні зубців згідно з теорією нормального розподілу ймовірностей будуть знаходитись в межах кількості робочих ходів алмазного хону між 4 та 12 проходів в залежності від додержання оптимізованих режимів обробітку, зернистості хону та визначеної економічної складової процесу зубохонінгування.

3.4 Висновки за розділом

Алмазні еластичні черв'ячні хони та оснащення, виготовлені і надані ІНМ НАН України для випробувань процесу зубохонінгування на горизонтально-фрезерному верстаті моделі 6М82Ш в умовах ПАТ «Гідросила», підтвердили працездатність та значну ефективність технології фінішної обробки зубців шестерень.

В процесі дослідження визначені та є рекомендованими для виробництва наступні раціональні параметри процесу зубохонінгування шестерень гідромоторів:

- алмазне хонінгування слід проводити з використанням пружної схеми обробітку з радіальним зусиллям 150-200 Н (15-20 кг);
- для серійного виробництва в умовах підприємства бажано застосовувати зубохонінгувальний верстат, який повинен бути оснащений автоматичною поздовжньою і періодичною поперечною подачами, а також автоматичним реверсом обертання інструменту;
- використання еластичною зв'язки 1.В3-20 забезпечує підвищену стійкість алмазного черв'ячного хону і при оптимальних режимах обробки сприяє видаленню дефектного шару, ефективному зниженню параметрів шорсткості з $R_a = 0,35-0,4 \text{ мкм}$, до $R_a = 0,08-0,15 \text{ мкм}$;
- зернистість алмазного порошку 80/63 - 28/20 не суттєво впливає на шорсткість обробленої поверхні, при цьому знімання припуску при хонінгуванні становить від 3 до 5 мкм на сторону зубця.

Визначені та рекомендовані у виробництві наступні режими процесу зубохонінгування:

- оптимальне радіальне навантаження у зачепленні 150-200 Н;
- частота оберту алмазного черв'ячного хону 150-200 об/хв;
- поздовжня подача $S_{\text{пр}} = 25$ мм/хв;
- мінімальна кількість поздовжніх проходів – 4 рази;
- в кінці кожного проходу обов'язкове застосування реверсу обертання черв'ячного хону.

Результати дослідження продемонстрували перспективність зубохонінгування алмазними еластичними черв'ячними хонами для підвищення якості циліндричних зубчастих передач та підвищення споживчих властивостей готового продукту, а саме шестеренних гідромоторів вітчизняного виробництва.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП - ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Суть ідеї проекту полягає в розробці та впровадженні удосконаленої технології зубохонінгування алмазними еластичними черв'ячними хонами. Технологія відрізняється від традиційної параметрами режимів зубохонінгування.

Основними напрямками використання даної продукції є високоточне машинобудівне виробництво, де широко використовуються зубохонінгувальні операції на етапі фінішної обробки поверхонь зубців шестерень гідравлічних машин.

Використана методологія розробки стартап-проекту викладена в ресурсі [21].

В таблицях 4.1 та 4.2 наведений більш детальний опис ідеї та проведено визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

Таблиця 4.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Удосконалення технології зубохонінгування алмазними еластичними черв'ячними хонами	Високоточне машинобудівне виробництво, де широко використовуються зубохонінгувальні операції на етапі фінішної обробки поверхонь зубців шестерень гідравлічних машин	Зменшення собівартості процесу зубохонінгування. Такі ж самі параметри шорсткості можливо отримати на модернізованих горизонтально-фрезерних верстатах вітчизняного виробництва, що не потребує значних капітальних вкладень у порівнянні з купівлею імпортних верстатів.

Таблиця 4.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Проект	Конкурент:1	Конкурент:2			
1	Ціна	+	-	-			+
2	Довговічність	+	+	+		+	
3	Складність налагодження виробництва	+	-	-			+
4	Наявність замінника	+	+	+		+	
5	Час реалізації для випуску товару	-	+	-	+		
6	Високовартісне обладнання	-	+	+			+

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах цього розділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Для проведення аудиту вирішуємо наступні питання: (таблиця 4.3):

- За якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- Чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/добробити?
- Чи доступні такі технології авторам проекту.

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технологія її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1.	Удосконалення технології зубохонінгування алмазними еластичними черв'ячними хонами	Розробка та впровадженні удосконаленої технології зубохонінгування алмазними еластичними черв'ячними хонами.	Необхідно провести додаткові дослідження з більшою кількістю шестерень і зміною режимів процесів	Доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: відрізняється від традиційної технології зубохонінгування параметрами режимів процесу.				

На основі проведеного аналізу, можна сказати, що процес удосконалення є досить кропітким та складним, оскільки потрібно серйозне фінансування, враховуючи вартість матеріалу та обладнання.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	500-1000
2	Загальний обсяг продаж, грн./ум.од	30000-50000/рік
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Необхідність інвестицій в достатній кількості
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	наявні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	90%

Далі визначені потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Надійність, точність, якість, ціна	Високоточні машинобудівні виробництва	На основі фінансового стану окремих клієнтів формуються відмінності.	Відповідна сертифікація. Висока надійність. Забезпечення необхідних параметрів якості.

Після визначення потенційних груп клієнтів проведено аналіз ринкового середовища: складені таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню

проекту, та факторів, що йому перешкоджають (таблиці 4.6 - 4.7). Фактори в таблиці наведені в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Недовіра вітчизняному виробнику	Сумнів в якості товару, у відповідності матеріалів	Показові презентації можливості технології.
2	Недосконалість	Недосконалість технології в порівнянні з іноземними	Порівнянні вітчизняного товару з зарубіжним. Презентація основних відмінностей технології

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зайняти нішу на ринку	Закріплення на конкурентоспроможному ринку	Покращення якості товару (технології). Переконання покупців в доцільності покупки.
2	Додаткові послуги	Гарантійне зобов'язання для технології.	Можливість обслуговування , супроводження , консультації.

Далі було проведено аналіз пропозиції з визначенням загальних рис конкуренції на ринку (див. табл. 4.8.).

Таблиця 4.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції	Олігополія	Мінімізація вартості технології та виробленої продукції
За рівнем конкурентоздатності	Національна	Перехід на всеукраїнський рівень з перспективою на міжнародну співпрацю
За галузевою ознакою	Внутрішньогалузева	Підвищення якості технології в порівнянні з конкурентами
Конкуренція за видами товарів	Товарно-родова	Проведення презентацій для підтвердження якості технології
За характером переваг	Цінова	Мінімізація собівартості
За інтенсивністю	Марочна	Закріплення бренду на ринку збуту

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Науково-дослідницькі заклади	Науково-дослідницькі заклади	Науково-дослідницькі заклади	Високоточні машинобудівні виробництва	Традиційні технології
Висновки	Боротьба на міжнародному рівні, за рахунок якості з мінімізацією ціни	Прозоре наукове підґрунтя при розробленні в порівнянні з конкурентами	Мінімізація вартості та надійності технології	Надання гарантійних послуг та обслуговування.	Покращення якості вихідної якості товару

За аналізом конкурентоздатності, можна зробити висновок про можливість реалізації ідеї, не зважаючи на труднощі.

Обґрунтування факторів конкурентоздатності наведені в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10- Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п/	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Зменшення собівартості процесу технології зубохонінгування	Виробництва з мінімальним прибутком поверх собівартості з витримкою якості товару дає велику перевагу серед конкурентів.
2	Удосконалення технології	Можливість подальшого удосконалення , а також обслуговування вже готової продукції дає перевагу серед конкурентів.
3	Прозорість по науковому обґрунтуванні розроблення технології	Інформація по науковій базі даної технології дає велику перевагу, оскільки вся інформація конкурентів є обмеженою.

За визначеними факторами конкурентоспроможності проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 4.11).

Таблиця 4.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п/	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Зменшення собівартості процесу технології зубохонінгування							+	
2	Удосконалення технології						+		
3	Прозорість по науковому обґрунтуванні розроблення технології				+				

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу, або матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weaknesses) сторін, можливостей (Opportunities) та загроз (Troubles) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (таблиця 4.12).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища.

Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 4.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Ціна та якість	Слабкості: Необхідні капіталовкладення
Можливості: Зменшення собівартості випуску продукції	Загрози: Неспроможність укорінитись на ринку через відомих конкурентів.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та

орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиці 4.13).

Таблиця 4.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Отримання ресурсів є більш простим та ймовірним	Ймовірна	24 місяці
2	Вирішення проблем, зв'язаних з недоліками	Ймовірна	до 12 місяців

Як альтернативу з найбільшою ймовірністю ринкового впровадження стартап-проекту вибрано вирішення проблем, що пов'язані з недоліками проекту, оскільки вони мають найменший термін реалізації.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (див. таблиці 4.14).

Таблиця 4.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Підприємство високоточного машинобудівного виробництва	Повна	Високий	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: Підприємства високоточного машинобудівного виробництва.					

Обрана стратегія охоплення ринку: стратегія диференційованого маркетингу - робота з декількома сегментами, з розробленням для них окремої програми ринкового впливу.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (таблиця 4.15).

Таблиця 4.15 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Вирішення проблем, зв'язаних з недоліками	Стратегія диференційованого маркетингу	Постійна корекція технології	Стратегія входження в конкурентну нішу

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 4.16).

Таблиця 4.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходом» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Забирати існуючих та шукати нових	Ні	Удосконалення та зниження собівартості власної технології

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до виробника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія

позиціонування, що полягає у формуванні позиції на ринку (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект (таблиця 4.17).

Таблиця 4.17 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспро- м ожні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Вироби мають відповідати заявленим характеристикам Надання гарантії на вироби	Заняття конкурентного місця	Постійна корекція технології	Якість, технологічність прозорість, ціна

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (таблиця 4.18).

Таблиця 4.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Забезпечення заданих характеристик	Якість, точність, надійність, ціна	Новітні технології
2	Прозора наукова база	Презентації наукового підґрунтя	Майже повна відсутність такого в конкурентів

Далі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточняється ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 4.19)

Таблиця 4.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
Товар за задумом	Повна фаза виробництва оправок		
Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1 Низька собівартість		
	2 Висока надійність		
	3 Новизна на ринку		
	Якість:використання новітніх технологій при розробленні та виготовленні		
	Пакування: відсутнє		
Марка: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України			
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патентування ідеї та всіх наукових досягнень по виробу.			

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (таблиця 4.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 4.20 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на технологію/послугу
1	Не має даних	16% економії	250 – 300\$

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 4.21):

- Проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- Вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- Вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.21 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Збут власними силами	Заходи з просування товару	міжрегіональний	структурована
2	Збут через посередників	Логістика, інформування виробника, розширення ринку	міжнародний	структурована

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спираються на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 4.22).

Таблиця 4.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цілових клієнтів	Канали комунікації, якими користуютьс я цілові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук якості за меншу вартість	Виставки, презентації, форуми, сайти партнерів	Собівартість, якість, надійність	Вітчизняна якість за доступною ціною	Якість, надійність та ціна

4.6 Висновки за розділом

Після проведення аналізу потреб ринку, можна упевнено зазначати про необхідність реалізації подібного проекту, адже існує необхідність в удосконаленні технології процесу зубохонінгування.

Перспективність проекту є дуже високою і тому заслуговує на реалізацію в сучасних реаліях вітчизняного ринку.

ВИСНОВКИ

В процесі роботи над магістерською дисертацією, було проведено літературний огляд, аналіз стану проблеми зубохонінгування і можливі способи їх вирішення. Визначено, що процес хонінгування, спрямований на забезпечення якісних показників поверхні оброблюваної деталі, є багатофакторним, що обумовлює багатоваріантність прийняття рішень у виборі режимів обробітку, а саме інструменту, швидкості його переміщення, тиску на оброблювану деталь, розміру і матеріалу зубчастих коліс, їх твердість, склад МОР і т.д.

З метою визначення впливу режимів процесу на якісні показники бічної поверхні зубців шестерень була розроблена технологія проведення експерименту, визначено оптимальні параметри режимів обробки, застосовані відповідні засоби вимірювальної техніки.

В результаті дослідження визначені та рекомендовані у виробництві раціональні режими процесу зубохонінгування шестерень гідромоторів.

Результати виконаного дослідження продемонстрували перспективність зубохонінгування алмазними еластичними черв'ячними хонами для підвищення якості циліндричних зубчастих передач та підвищення споживчих властивостей готового продукту, а саме шестеренних гідромоторів вітчизняного виробництва.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Калашников А.С. Технология изготовления зубчатых колёс / А.С. Калашников. М.:Машиностроение, 2004. - 479 с.
- 2 Калашников А. С. Современные методы чистовой обработки зубьев цилиндрических колес / А. С. Калашников //Металлообработка. Оборудование и инструмент для профессионалов. Международный информационно-технический журнал. – Харьков, 2007. – № 5. – С. 38-42.
- 3 Кривошея А.В. Финишная обработка цилиндрических зубчатых колес алмазными эластичными червячными хонами / А.В. Кривошея В.Е., Мельник В.В., Возный С.В., Рябченко В.Н., Бычихин Т.Е., Третьяк // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сборник научных трудов. – Вып. 19 – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля, НАН Украины, 2016. – С.444 - 450.
- 4 Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Сторчак М.Г. Проектирование формообразующего оборудования и инструментальных систем для обработки зубчатых колес // Теория и практика зубчатых передач: Сборник трудов Международного симпозиума. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2014. – С.484-489.
- 5 Воронцов Б.С. Интерактивное управление синтезом зубчатых передач // Вестник НТУ "ХПИ": Сборник научных трудов. Тем.вып. "Проблемы механического привода". – Харьков: НТУ "ХПИ", 2005. – №40. – С.182-187.
- 6 ГОСТ 25142-82. Шероховатость поверхности. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1982. – 20 с.
- 7 ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 7 с.
- 8 Сагарда А.С. Алмазно-абразивная обработка деталей машин / А.С. Сагарда И.Х., Чеповецкий Л.Л., Мишнаевский М.М.: Изд-во «Техника», 1974 - 180 с.
9. Хонингование /А. П., Бабичев Ю. Н., Полянчиков А. В., Славин В. М., Шумячер М. Ю., Полянчикова Л. В., Гусакова С. В. Волгоград: ВолГАСУ, 20123 - 245 с.
10. Долинин А.А. Вершинное хонингование полуэластичными алмазными брусками //Пермский политехнический университет. Сборник научных трудов.- Вып. 17 – Пермь, 2012.- 5 с.
11. Чеповецкий И. Х. Алмазное хонингование термообработанных сталей / И. Х. Чеповецкий, Э. Д. Кизиков, Ю. Э. Рыжов. – Киев: Наукова думка, 1988. – 126 с.
12. Чеповецкий И. Х. Основы финишной алмазной обработки / И. Х. Чеповецкий. – Киев: Наукова думка, 1980.
13. Фрагин И. Е. Исследование процесса хонингования / И. Е. Фрагин, В. Г. Сафронов. – М.: НИИМАШ, 1965.
14. Бабичев А. П. Хонингование / А. П. Бабичев. – М.: Машиностроение, 1965.

15 Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справочник / под ред. С. Г. Энтелиса. – М.: Машиностроение, 1986.

16 Худобин Л. В. Смазочно-охлаждающие средства, применяемые при шлифовании / Л. В. Худобин. – М.: Машиностроение, 1971.

17 Синтетические алмазы в машиностроении / В.Н. Бакуль Б.И., Гинзбург Л.Л., Мишнаевский А.А., Сагарда И.Х., Чеповецкий И. Х. Киев: Изд-во «Наукова думка», 1976.-352 с.

18 Неделин Ю. Л. Исследование процесса стружкообразования при хонинговании / Ю. Л. Неделин // Резание и инструмент. – 1976. – № 3. – С. 86 – 88.




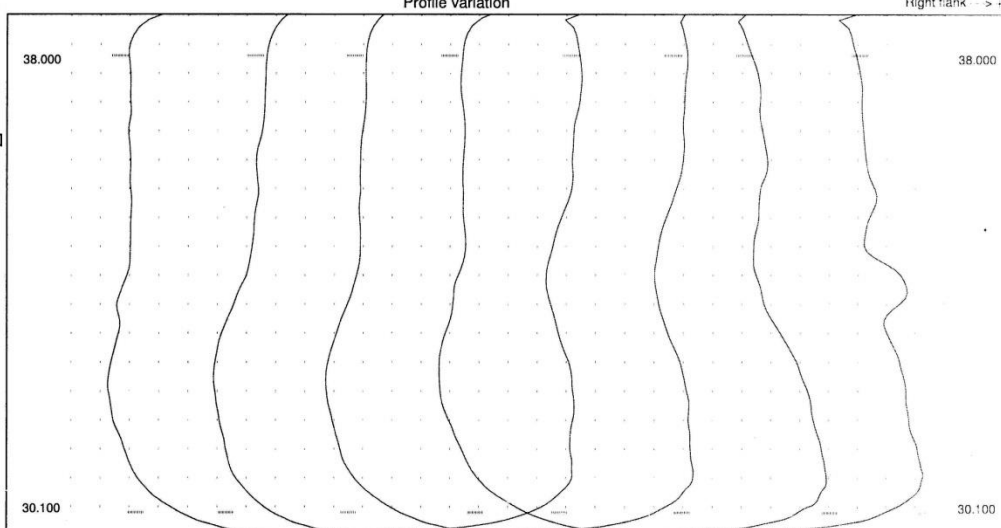


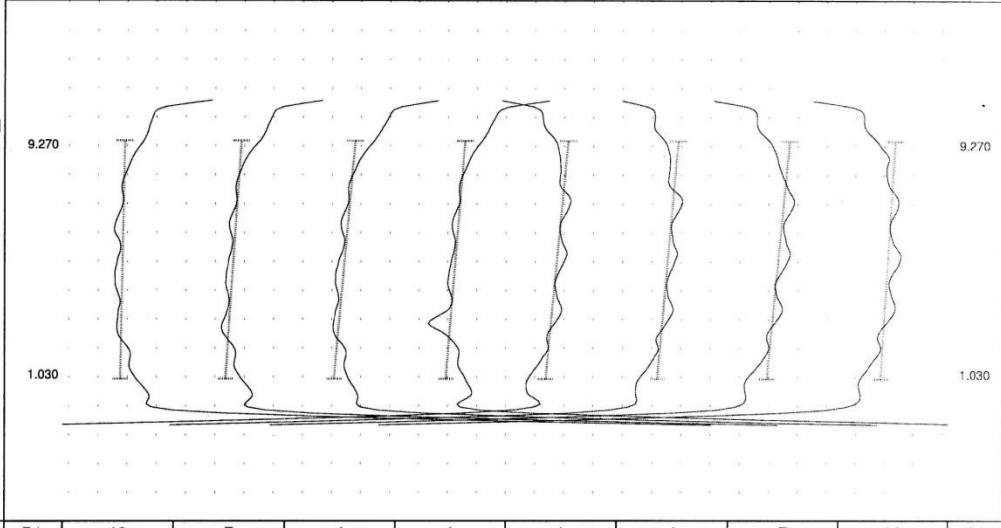


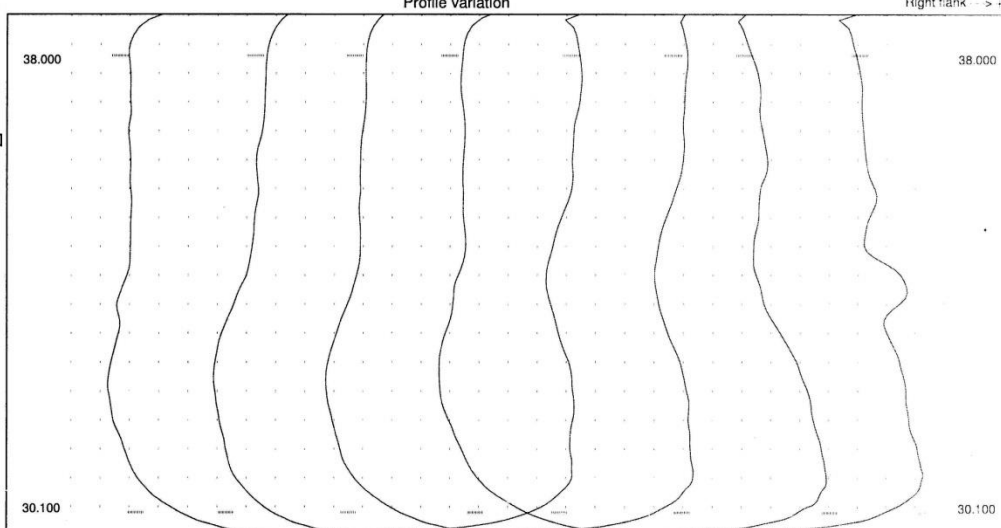


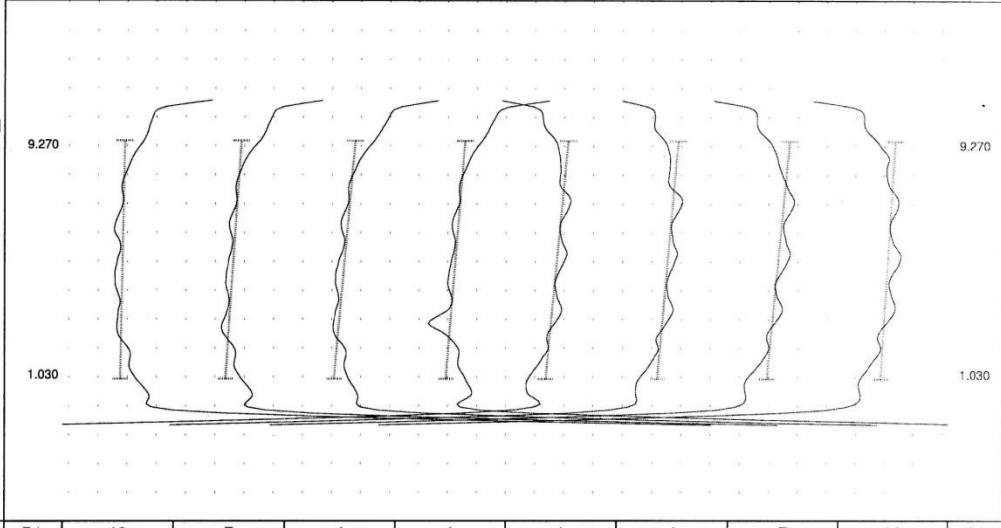


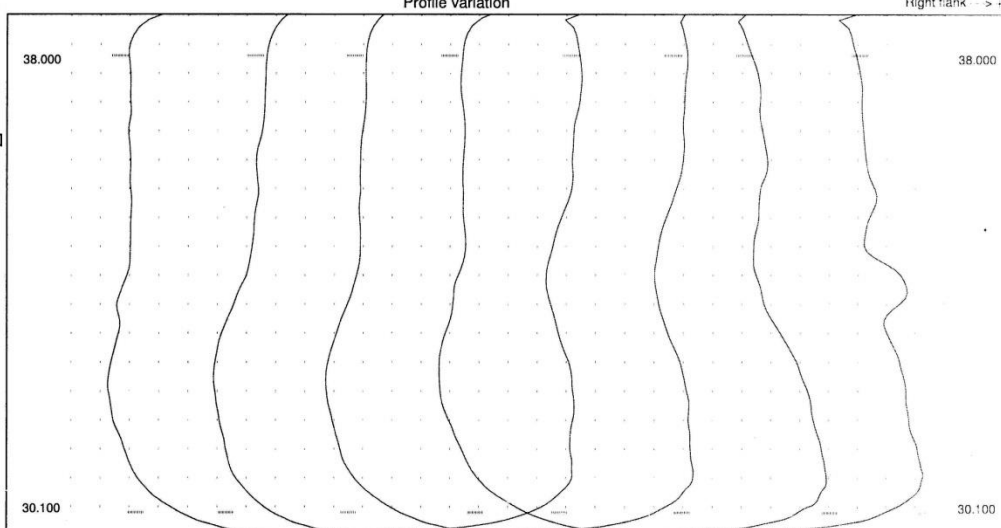


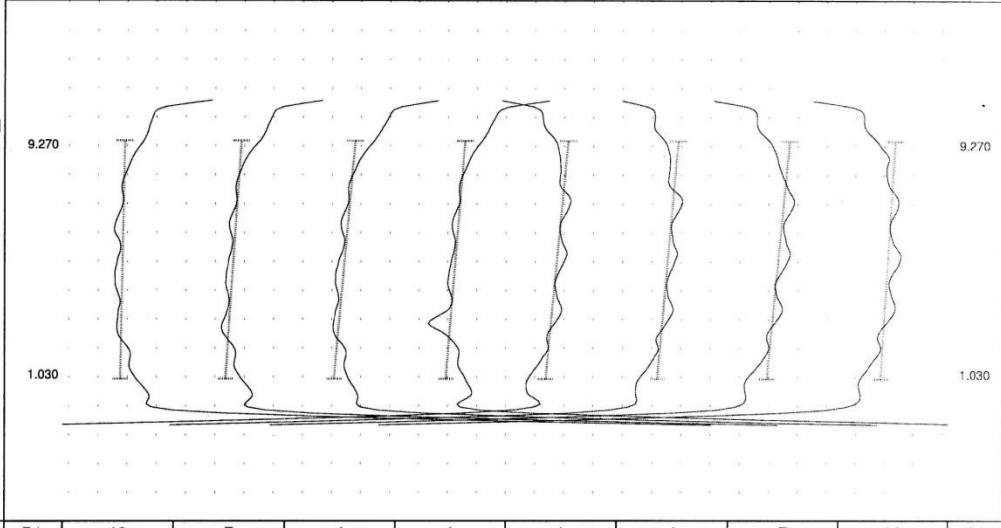
19 Хонингование: справочное пособие / С. И. Куликов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1973.

20 Прогрессивные методы хонингования / С.И. Куликов, Ф.Ф. Ризванов, В.А. Романчук, С.В. Ковалевский. – М.: Машиностроение, 1983.- 135 с.

21 Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

ДОДАТОК А

(протокол вимірювання зубців шестерні за параметрами точності до проведення хонінгування)

	GMX 275 05.12_2.0	До хонінгування	21.11.18 18:31:31 Operator: Elena Chemoidan Signature:	100																																																																																																																																						
	Workpiece: GM6K_4_00_08RM_04_..		Drawing No.: Operation:																																																																																																																																							
Comments: Protokol # 1953 Detal # 3 GM6K_4_00_08RM_04_29_55																																																																																																																																										
<table border="0"> <tr> <td>No. of teeth</td> <td>12</td> <td>Base diameter</td> <td>29.5500 mm</td> <td>VDI/Tol.din3962</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Normal module</td> <td>2.6250 mm</td> <td>Normal Press. angle</td> <td>20.0000 °</td> <td>Qnom= 8</td> <td>Qact= 10</td> </tr> <tr> <td>Face width</td> <td>10.3000 mm</td> <td>Helix angle</td> <td>0.0000 °</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Probe stylus diameter</td> <td>1.9962 mm</td> <td>Addend. modif.</td> <td>0.1000</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					No. of teeth	12	Base diameter	29.5500 mm	VDI/Tol.din3962		Normal module	2.6250 mm	Normal Press. angle	20.0000 °	Qnom= 8	Qact= 10	Face width	10.3000 mm	Helix angle	0.0000 °			Probe stylus diameter	1.9962 mm	Addend. modif.	0.1000																																																																																																																
No. of teeth	12	Base diameter	29.5500 mm	VDI/Tol.din3962																																																																																																																																						
Normal module	2.6250 mm	Normal Press. angle	20.0000 °	Qnom= 8	Qact= 10																																																																																																																																					
Face width	10.3000 mm	Helix angle	0.0000 °																																																																																																																																							
Probe stylus diameter	1.9962 mm	Addend. modif.	0.1000																																																																																																																																							
<table border="0"> <tr> <td colspan="2">+ <— Left flank</td> <td colspan="2">Profile variation</td> <td colspan="2">Right flank — > +</td> </tr> <tr> <td> Tip Va 1000:1*  UPL=20 Diameter ↑ Vb 10:1*  Root </td> <td colspan="4">  </td> <td></td> </tr> <tr> <td>[µm]</td> <td>Tol.</td> <td>10</td> <td>7</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>7</td> <td>10</td> <td>Tol.</td> </tr> <tr> <td>Fa</td> <td>20.0</td> <td>11.6</td> <td>9.2</td> <td>11.7</td> <td>13.9</td> <td>7.7</td> <td>6.6</td> <td>13.0</td> <td>11.6</td> <td>20.0</td> </tr> <tr> <td>fHa</td> <td>-12.0/+12.0</td> <td>2.2</td> <td>-5.6</td> <td>-1.7</td> <td>3.8</td> <td>1.6</td> <td>-1.9</td> <td>-15.1</td> <td>-11.7</td> <td>-12.0/+12.0</td> </tr> <tr> <td>ffa</td> <td>16.0</td> <td>10.7</td> <td>11.5</td> <td>12.3</td> <td>12.3</td> <td>6.2</td> <td>6.5</td> <td>6.6</td> <td>9.6</td> <td>16.0</td> </tr> <tr> <td colspan="11"> fHam= -0.3 Wobble= 9.4 Qnom= 8 Qact= 8 fHam= -6.8 Wobble= 16.7 Qnom= 8 Qact= 9 </td> </tr> <tr> <td colspan="2">+ <— Left flank</td> <td colspan="2">Lead-tooth alignment variation</td> <td colspan="2">Right flank — > +</td> </tr> <tr> <td> Top Va 500:1*  DIN/VDI UPL=20 Axis direction ↑ Vb 5:1  Bottom </td> <td colspan="4">  </td> <td></td> </tr> <tr> <td>[µm]</td> <td>Tol.</td> <td>10</td> <td>7</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>7</td> <td>10</td> <td>Tol.</td> </tr> <tr> <td>Fb</td> <td>18.0</td> <td>10.1</td> <td>13.2</td> <td>14.2</td> <td>18.4</td> <td>14.6</td> <td>14.8</td> <td>16.3</td> <td>14.1</td> <td>18.0</td> </tr> <tr> <td>fHb</td> <td>-16.0/+16.0</td> <td>-1.5</td> <td>-5.4</td> <td>-7.2</td> <td>-6.5</td> <td>-7.6</td> <td>-7.0</td> <td>-7.7</td> <td>-5.0</td> <td>-16.0/+16.0</td> </tr> <tr> <td>ffb</td> <td>9.0</td> <td>9.6</td> <td>9.0</td> <td>9.2</td> <td>14.2</td> <td>9.4</td> <td>9.6</td> <td>10.9</td> <td>11.5</td> <td>9.0</td> </tr> <tr> <td colspan="11"> fHbm= -5.2 Wobble= 5.7 Qnom= 8 Qact= 10 fHbm= -6.8 Wobble= 2.7 Qnom= 8 Qact= 9 </td> </tr> </table>					+ <— Left flank		Profile variation		Right flank — > +		Tip Va 1000:1*  UPL=20 Diameter ↑ Vb 10:1*  Root						[µm]	Tol.	10	7	4	1	1	4	7	10	Tol.	Fa	20.0	11.6	9.2	11.7	13.9	7.7	6.6	13.0	11.6	20.0	fHa	-12.0/+12.0	2.2	-5.6	-1.7	3.8	1.6	-1.9	-15.1	-11.7	-12.0/+12.0	ffa	16.0	10.7	11.5	12.3	12.3	6.2	6.5	6.6	9.6	16.0	fHam= -0.3 Wobble= 9.4 Qnom= 8 Qact= 8 fHam= -6.8 Wobble= 16.7 Qnom= 8 Qact= 9											+ <— Left flank		Lead-tooth alignment variation		Right flank — > +		Top Va 500:1*  DIN/VDI UPL=20 Axis direction ↑ Vb 5:1  Bottom						[µm]	Tol.	10	7	4	1	1	4	7	10	Tol.	Fb	18.0	10.1	13.2	14.2	18.4	14.6	14.8	16.3	14.1	18.0	fHb	-16.0/+16.0	-1.5	-5.4	-7.2	-6.5	-7.6	-7.0	-7.7	-5.0	-16.0/+16.0	ffb	9.0	9.6	9.0	9.2	14.2	9.4	9.6	10.9	11.5	9.0	fHbm= -5.2 Wobble= 5.7 Qnom= 8 Qact= 10 fHbm= -6.8 Wobble= 2.7 Qnom= 8 Qact= 9										
+ <— Left flank		Profile variation		Right flank — > +																																																																																																																																						
Tip Va 1000:1*  UPL=20 Diameter ↑ Vb 10:1*  Root																																																																																																																																										
[µm]	Tol.	10	7	4	1	1	4	7	10	Tol.																																																																																																																																
Fa	20.0	11.6	9.2	11.7	13.9	7.7	6.6	13.0	11.6	20.0																																																																																																																																
fHa	-12.0/+12.0	2.2	-5.6	-1.7	3.8	1.6	-1.9	-15.1	-11.7	-12.0/+12.0																																																																																																																																
ffa	16.0	10.7	11.5	12.3	12.3	6.2	6.5	6.6	9.6	16.0																																																																																																																																
fHam= -0.3 Wobble= 9.4 Qnom= 8 Qact= 8 fHam= -6.8 Wobble= 16.7 Qnom= 8 Qact= 9																																																																																																																																										
+ <— Left flank		Lead-tooth alignment variation		Right flank — > +																																																																																																																																						
Top Va 500:1*  DIN/VDI UPL=20 Axis direction ↑ Vb 5:1  Bottom																																																																																																																																										
[µm]	Tol.	10	7	4	1	1	4	7	10	Tol.																																																																																																																																
Fb	18.0	10.1	13.2	14.2	18.4	14.6	14.8	16.3	14.1	18.0																																																																																																																																
fHb	-16.0/+16.0	-1.5	-5.4	-7.2	-6.5	-7.6	-7.0	-7.7	-5.0	-16.0/+16.0																																																																																																																																
ffb	9.0	9.6	9.0	9.2	14.2	9.4	9.6	10.9	11.5	9.0																																																																																																																																
fHbm= -5.2 Wobble= 5.7 Qnom= 8 Qact= 10 fHbm= -6.8 Wobble= 2.7 Qnom= 8 Qact= 9																																																																																																																																										

Продовження Додатку А

	GMX 275 05.12_2.0		21.11.18 18:31:31 Operator: Elena Chemoidan Signature:	200
	Workpiece: Drawing No.: GM6K_4_00_08RM_04_.. Operation:			
Comments: GM6K_4_00_08RM_04_29_55 Protokol # 1953 Detal # 3				

Spacing variation

Left flank

Va 1000:1
10 μm

Right flank

Va 2000:1
5 μm

Index variation

Left flank

Va 1000:1
10 μm

Right flank

Va 1000:1
10 μm

Left flank						Right flank					
μm	fpmax	fumax	Fp	Rp	Qual	μm	fpmax	fumax	Fp	Rp	Qual
Act.v.	13.2	20.5	21.9	20.5		Act.v.	7.5	8.8	29.9	14.7	
Tol.	14.0	18.0	40.0	-	-	Tol.	14.0	18.0	40.0	-	-
Qnom	8	8	8	**	8	Qnom	8	8	8	**	8
Qact	8	9	7	**	9	Qact	7	6	8	**	8

Radial run-out variation

Va 1000:1
10 μm

Results

Fr= 24.9 | Tol.= 32.0 [μm] | Qnom= 8 | Qact= 8

DOP(2KM) = 38.7333 (38.7298 ... 38.7427) mm		Tol. = -		DM = 4.8380 mm	
Span over 1 teeth = 4.3746 (4.3692 ... 4.3877) mm		Tol. = 4.3462/ 4.3962 (4.5062) mm			

ДОДАТОК Б

(протокол вимірювання зубців шестерні за параметрами точності після проведення хонінгування)

Mahr	GMX 275 05.12_2.0	После хонингования	29.11.18 13:35:49 Operator: Roman Polishchuk Signature:	100	
Workpiece:		Drawing No.: GM6K_4_00_08RM_04_..		Operation:	
Comments:					GM6K_4_00_08RM_04_29_55
Protokol # 2217		Detal # 6			
No. of teeth		12		Base diameter	
Normal module		2.6250 mm		29.5500 mm	
Face width		10.3000 mm		Normal Press. angle	
Probe stylus diameter		1.9962 mm		20.0000 °	
		Addend. modif.		0.0000 °	
				0.1000	
				VDI/Tol.din3962	
				Qnom= 8	
				Qact= 9	

+ <— Left flank

Tip

Va
1000:1*

10 μm

UPL=20

↑
Diameter

Vb
10:1*

1.00 mm

Δ

Root

Profile variation

Right flank > +

[μm]	Tol.	10	7	4	1	1	4	7	10	Tol.
Fa	20.0	8.7	14.6	11.3	13.2	13.7	13.7	14.9	13.3	20.0
fHa	-12.0/+12.0	-4.8	-12.5	-6.3	5.8	7.6	9.2	-10.8	-7.9	-12.0/+12.0
ffa	16.0	8.5	9.6	12.4	10.9	10.6	8.9	9.0	10.3	16.0

fHam= -4.5 | Wobble= 18.3 | Qnom= 8 | Qact= 9 fHam= -0.5 | Wobble= 20.0 | Qnom= 8 | Qact= 8

+ <— Left flank

Top

Va
500:1*

20 μm

DIN/VDI
UPL=20

↑
Axis direction

Vb
5:1

2.00 mm

Δ

Bottom

Lead-tooth alignment variation

Right flank > +

[μm]	Tol.	10	7	4	1	1	4	7	10	Tol.
Fb	18.0	7.9	7.1	8.8	8.8	13.9	15.5	17.4	10.5	18.0
fHb	-16.0/+16.0	1.7	0.6	0.2	-0.1	-4.8	-10.0	-10.4	-0.9	-16.0/+16.0
ffb	9.0	7.2	7.3	8.9	8.8	12.2	10.3	11.6	10.2	9.0

fHbm= 0.6 | Wobble= 1.8 | Qnom= 8 | Qact= 8 fHbm= -6.5 | Wobble= 9.5 | Qnom= 8 | Qact= 9

Продовження Додатку Б

	GMX 275 05.12_2.0		29.11.18 13:35:49 Operator: Roman Polishchuk Signature:	200	
Workpiece:		Drawing No.: GM6K 4 00 08RM 04 ..		Operation:	
Comments: Protokol # 2217		Detal # 6		GM6K_4_00_08RM_04_29_55	

Spacing variation

Right flank

Index variation

Right flank

Left flank						Pitch variation						Right flank					
μm	f _{pmax}	f _{umax}	F _p	R _p	Qual	μm	f _{pmax}	f _{umax}	F _p	R _p	Qual	μm	f _{pmax}	f _{umax}	F _p	R _p	Qual
Act.v.	13.3	10.8	31.7	25.3		Act.v.	13.0	10.1	30.7	24.8		Act.v.	13.0	10.1	30.7	24.8	
Tol.	14.0	18.0	40.0	-	-	Tol.	14.0	18.0	40.0	-	-	Tol.	14.0	18.0	40.0	-	-
Q _{nom}	8	8	8	**	8	Q _{nom}	8	8	8	**	8	Q _{nom}	8	8	8	**	8
Q _{act}	8	7	8	**	8	Q _{act}	8	7	8	**	8	Q _{act}	8	7	8	**	8

Radial run-out variation

Results | **[Fr= 32.1]** | Tol.= 32.0 [μm] | Q_{nom}= 8 | Q_{act}= 9

DOP(2KM) = 38.7580 (38.7550 ... 38.7656) mm		Tol. = -		DM = 4.8380 mm	
Span over 1 teeth = 4.3867 (4.3821 ... 4.3918) mm		Tol. = 4.3462/ 4.3962 (4.5062) mm			